

地球研プロジェクト C-05

都市の地下環境に残る人間活動の影響

平成 20 年度報告書 No5

Research Institute for Humanity and Nature, Research Project C-05  
**Human Impacts on Urban Subsurface Environments**  
Progress Report 2008



平成 20 年 12 月 総合地球環境学研究所 谷口 真人

Makoto Taniguchi, Research Institute for Humanity and Nature, Dec. 2008



## はじめに

本報告書は、地球研プロジェクト C-05 「都市の地下環境に残る人間活動の影響（略称：地下環境プロジェクト）」の本研究 3 年目（FR3）にあたる平成 20 年度の研究活動報告の一部をまとめたものである。平成 20 年 2 月に外部中間評価を終え、本年度はプロジェクト後半の 1 年目に当たる。本年度は、当初の計画と中間評価での指摘をうけて、研究対象地域での現地調査・資料収集・解析をすすめ、各テーマごとの研究活動の推進と統合化を図った。平成 20 年 11 月 10-11 日には、その成果を取りまとめるために、地球研・地下環境プロジェクト全体会議を開催し、本年度の成果の一部として、要旨集・全体会議で用いた発表ファイルを本報告書にまとめた。

「地下環境プロジェクト」は、地球研「循環領域プログラム」に位置づけられ、その中の「物の循環」において、地下環境における“水”の循環とそれに伴う“物質”・“熱”の循環を、地下と地上の間の循環、陸と海の間の循環などの観点から俯瞰する。また地表水と地下水との水資源の転換などの問題において、時空間をまたがる水資源の「価値としての転換・循環」の観点から明らかにする点で「循環領域プログラム」に貢献する。本プロジェクトはアジアの諸都市で発生している地下環境問題が、時間の遅れを伴って繰り返し発生している（悪循環）していることに対する提言を行うことで、地球研・循環領域プログラムに貢献するものである。

本プロジェクトの成果の一部は、すでに学会発表や関連専門誌の論文として公表されているが、それらの内容を含めた研究活動内容は、ホームページ上で公開している (<http://www.chikyu.ac.jp/USE/>)。またニューズレターを年 2 回発行しており (Vol. 5: 2008 年 4 月、Vol. 6: 2008 年 10 月)、カウンターパートとの情報交換や速報的な成果発信に利用している。

地下環境プロジェクトは、データ収集を中心にした前半から、データの解析・統合を中心にした後半に入り、各テーマの統合と成果発信を加速する予定である。関係諸氏の御協力・御支援をいただければ幸甚である。

平成 20 年 12 月

総合地球環境学研究所  
地下環境プロジェクト  
プロジェクトリーダー  
谷口真人



## 平成 20 年度 成果報告 目次

谷口 真人 (総合地球環境学研究所)

「都市の地下環境における人間活動の影響」 ..... 1

### 社会経済班

---

金子 慎治 (広島大学大学院国際協力研究科)

「平成 20 年度社会経済班研究進歩報告」 ..... 5

「Annual Activity Report: Economic survey on the flooding in Jakarta」 ..... 21

今井 剛 (山口大学大学院理工学研究科)

「2008 年度の研究のまとめ

(主には HydroChange 2008 in Kyoto の投稿論文のまとめ)」 ..... 25

Karen Ann B. Jago-on (広島大学大学院国際協力研究科)

「Socio-economic impacts of flooding in the KAMANAVA area, Metro Manila」 ..... 26

田中 勝也 (滋賀大学環境総合研究センター)

「SWAT と MODFLOW の統合による土地利用と

地下水流動の分析フレームワークについて」 ..... 27

谷川 寛樹 (和歌山大学システム工学部)

「全国の都道府県における地下と地上の建設ストックの経年推計に関する研究」 ..... 28

藤倉 良 (法政大学人間環境学部)

「農地に対する窒素と磷の必要量から推定した江戸時代末期の

関東地方南部におけるし尿の需給関係」 ..... 29

松本 亨 (北九州市立大学国際環境工学部)

「Impact of Municipal Waste and Waste Water Management Change

on Nutrients Flow to Surface Water and Ground Water in Asian Mega-cities」 ..... 30

### 都市地理班

---

吉越 昭久 (立命館大学文学部)

「都市地理 S G の今年度の研究内容」 ..... 31

「ソウルと台北における水環境変化の比較研究」 ..... 33

一ノ瀬 俊明 (国立環境研究所)

「都市化の進展に伴う地上気象要素の変遷」 ..... 36

遠藤 崇浩 (総合地球環境学研究所)

「都市の地下環境に残る人間活動の影響」 2008 年度研究内容・成果報告 ..... 40

香川 雄一 (滋賀県立大学環境科学部)	
「今年度の研究内容・成果」	41
加藤 政洋 (立命館大学文学部)	
「東南アジアにおける首位 (メガ) 都市の空間構造」	45
白木 洋平 (総合地球環境学研究所)	
「ヒートアイランドが地下温度に与える影響評価」	46
谷口 智雅 (立正大学地球環境科学部)	
「生活空間における地下水利用と井戸について」	47
白 迎玖 (東北公益文科大学公益学部)	
「台北の都市発展と都市気温の上昇」	51
山下 亜紀郎 (酪農学園大学環境システム学部)	
「土地利用分布からみたアジアのメガシティにおける空間構造の比較」	52

## 水班

---

嶋田 純 (熊本大学理学部)	
「水グループ 2007-2008 成果報告と年度内計画・次年度計画について」	53
井川 怜欧 (産業技術総合研究所)	
「2008 年度研究内容および成果」	57
河本 和明 (長崎大学環境科学部)	
「地表面放射収支の理解のための潜在的放射強制の概念の導入」	58
辻村 真貴 (筑波大学大学院生命科学研究科)	
「地下水・湧水の CFCs 濃度分析システムの構築と滞留時間推定への適用性の検討」	59
徳永 朋祥 (東京大学大学院新領域創成科学研究科)	
「関東平野の水理地質構造モデルおよび揚水量復元手法の改良」	60
林 武司 (秋田大学教育文化学部)	
「東京低地南部における、高度に都市化される以前の地下水の水質性状」	61
馬原 保典 (京都大学原子炉実験所)	
「 $^{85}\text{Kr}$ 地下水年代測定のための現位置地下水からの溶存 Kr の抽出実験」	62
百島 則幸 (九州大学・アイトフ 総合センター)	
「地下水溶存ガス中の Kr-85 の分離と放射能測定法」	64
安元 純 (総合地球環境学研究所)	
「数値解析を用いた海底地下水湧出の変動特性評価の試み」	69

山中 勤 (筑波大学陸域環境研究センター)	
「バンコク地下水研究：2008年度の進捗状況」	70
愛知正温 (東京大学大学院工学研究科)	
「関東平野地下水流動モデルの改良と涵養量変遷の推定」	76
利部 慎 (熊本大学大学院自然科学研究科)	
「ジャカルタ地域における地下水の滞留時間の検討」	77

## 重力班

---

福田 洋一 (京都大学大学院理学研究科)	
「重力班研究の概要」	78
仲江川 敏之 (気象研究所気候研究部)	
「陸水総貯留量推定に用いている日本再解析(JRA-25)の水文変数の季節変化再現性」	84
西島 潤 (九州大学大学院工学研究院)	
「A10型絶対重力計の国内テスト測定およびジャカルタにおける重力・GPS測定」	86
山本 圭香 (総合地球環境学研究所)	
「GRACE衛星重力データによるグローバルスケール陸水モデルの検証」	91
長谷川 崇 (京都大学大学院理学研究科)	
「GRACEデータを用いた2006年 オーストラリア大旱魃による陸水変動のモニタリング」	94

## 物質班

---

小野寺 真一 (広島大学大学院総合科学研究科)	
「物質班の現状と展望 2008」	95
梅澤 有 (長崎大学水産学部)	
「軽元素安定同位体比を用いた アジア大都市域の人為起源汚染と自浄ポテンシャルの把握」	100
中野 孝教 (総合地球環境学研究所)	
「大阪平野周辺の地下水環境の地球化学的研究」	104
中屋 眞司 (信州大学工学部土木工学科)	
「平成20年5月～10月の研究内容と成果」	105
細野 高啓 (秋田大学工学資源学部)	
「2008年度の研究内容と成果」	106

## 熱班

---

山野 誠 (東京大学地震研究所)	
「熱班の活動報告」 .....	109
江原 幸雄 (九州大学大学院工学研究院)	
「地中熱利用冷暖房システムの開発と地下熱環境への影響評価」 .....	115
北岡 豪一 (岡山理科大学理学部)	
「岡山市内での地下温度の観測報告」 .....	116
後藤 秀作 (産業技術総合研究所)	
「過去の気候変動と人間活動が地下熱環境に与えた影響：韓国・ソウルにおける研究」 .....	117
濱元 栄起 (東京大学地震研究所)	
「バンコク地域における孔井内温度からの地表面温度履歴の復元」 .....	121
宮越 昭暢 (産業技術総合研究所)	
「東京地域における人間活動の影響による地下温度環境変化」 .....	122
Rachmat Fajar Lubis (Indonesia Institute of Science)	
「Reconstruction of the thermal environment evolution in Jakarta from underground temperature profiles (Progress Report)」 .....	126

## モデル WG

---

安元 純 (総合地球環境学研究所)	
「Model-WG の現状について」 .....	127

## データベース WG

---

白木 洋平 (総合地球環境学研究所)	
「Google Earth を用いた地理情報データの利用に関する検討」 .....	132
「地球研・地下環境プロジェクト全体会議 (DB-WG)」 .....	133



## 都市の地下環境に残る人間活動の影響

谷口真人（総合地球環境学研究所）

FR3（Full Research 3年目）にあたる平成20年度の主な活動状況は以下のとおりである。

- 野外共同観測と現地データ収集調査を行い、都市の発達段階に応じた地下環境モニタリングを7都市で継続中。
- 国際学術誌 STOTEN (Science of the Total Environment, *Elsevier*)の特集号として、プロジェクト中間成果の一部を公表（overview paper 1編、original papers 15編）。
- IAHS・GWSP と共催で HydroChnage2008 を開催し（10月1-3日）、プロジェクト中間成果の一部を公表、CRC Press から”From Headwater to the Ocean”(679pp)を出版。
- 地下環境に関する自然・社会環境データのアセスメントと、GIS を基にしたデータベースの構築を継続し、昨年完成させた東京・大阪の3時代区分と7都市の最新土地利用図に加え、残りの土地利用図を0.5kmメッシュで完成（予定）。
- ユネスコ GRAPHIC と連携し、気候変動・人間活動の地下水資源への影響評価成果を36th IAH 国際会議(10月27-31日)で公表し、IAH から”Climate Change and Groundwater”として出版（予定）
- サミット外相会議(6月25-27日)でのメディア向けプロジェクト成果のポスター発表、陸水学会シンポジウム(10月12日)でのプロジェクト成果発表と陸水学雑誌・特集号。
- 地下水貯留量変動評価のための衛星GRACEデータモデル、各都市地下水流動詳細モデル、7都市比較モデル、DPSIR+Cモデルなど、プロジェクトの各サブテーマにおけるモデルの開発を継続。
- 地下熱・都市・社会経済データを用いた環境復元の継続
- 地下環境への物質負荷量評価のため、各種水資料の同位体・化学分析を行い、起源・プロセスの解明と、新しいトレーサー（CFC, Kr 等）を用いた手法開発の継続。

### 今後の課題について

- 外部中間評価での指摘事項：Development of the city の定義の明確化、多量データの提示方法、将来予測、沿岸域の地下水流出現象。
- 法・制度と地表水(公水)・地下水(私水)問題を、サブテーマ間のクロスカッティングとして位置づけ。
- 統合モデルとデータベースに関するワーキンググループによるサブテーマの統合
- 新しい測定システム(CFC, Kr, 絶対重力計等)の有効性を確認し、異なる手法を用いたクロスチェック。
- 最終成果物の公表方法に関する準備。

# 地球研・地下環境プロジェクト H20年全体会議 (FR3:Full Research 3年目)

霞ヶ浦:2008年11月10-11日



## 地球研プロジェクト・2-4「地下環境プロ」(H18-22) 「都市の地下環境に残る人間活動の影響」

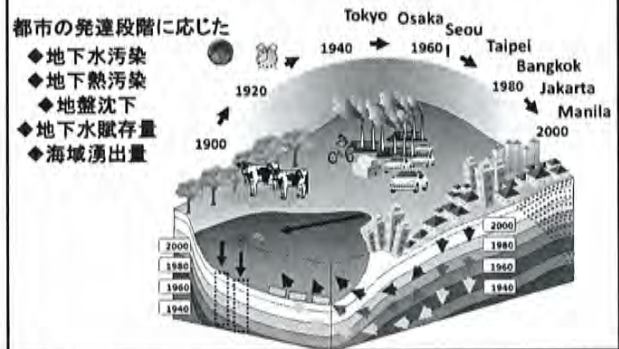
Human Impacts on Urban Subsurface Environment  
<http://www.chikyu.ac.jp/USE/>



## 外部中間評価の結果

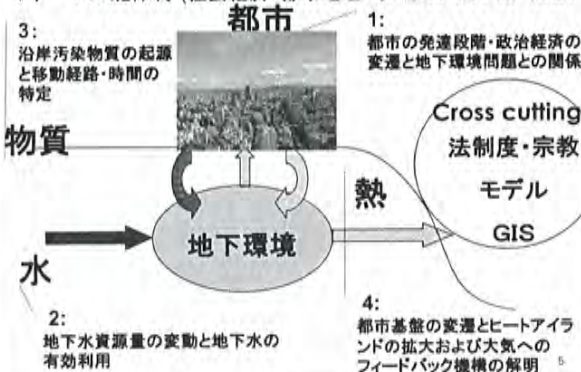
- 2008年2月28日:13名の外部評価委員(委員長Ohmura(ETH))による評価
- 全体としてはおおむね良好。**多量のデータをどのように解析・評価・提示するか**に焦点を当てる。
- 個々の問題
  - Development stage of the city → 議論  
定義を明確化。→PL+社会経済G+Model-G+ GIS-Gを中心に霞ヶ浦会議までにつめる。(金子・白木)
  - 将来予測をどう取り扱うか→PL + Model G
  - 沿岸地下水・SGD→PL + 物質G

## 都市の地下環境に与える人間活動の影響 (FR2-4 地下環境プロジェクト) PL:谷口真人



## 複合的な地下環境問題に総合的に取り組む

4テーマ:6班体制(社会経済・都市地理・水・重力・地下熱・物質)



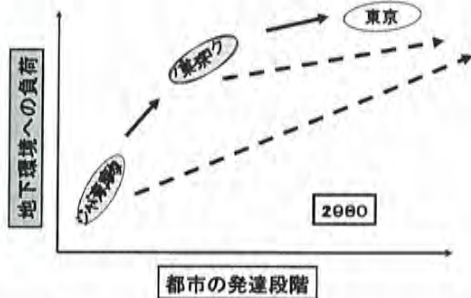
## プロジェクトの最終目標

地球環境問題は、その問題が地球全体に影響が及んでいるか、あるいは地球上で普遍的に発生し未来可能性を食いつぶしている環境問題といえる。本プロジェクトの対象は後者に相当する。

現在発生している「地下に潜む地球環境問題」の「作用環」を明らかにすることで、「未来可能性」を食いつぶしている現状を理解し、表流水・地下水間の水資源転換、汚染地下環境の放置問題、有効地下環境利用等に対して、「未来可能性」を提示することで「地球環境問題」の解決に資する。

このプロジェクトでは、地下水・地下環境をより賢明に活用し、共生する統合的考え方・手法を提示することを最終目標とする

地盤沈下・地下水汚染・地下熱汚染など様々な地下環境問題がアジアの諸都市で時間遅れを伴って繰り返し発生した。どうして同じ問題が次々と場所を変えて発生し続けるのか？環境負荷を少なくして地下環境を有効利用する方策は？



## H20年度の達成目標

- **社会経済:** “都市の発達段階”の明確化。DPSIR+Cモデルの地下環境へ適用の具体化。自然系Gとのデータの共有。
- **都市地理:** GIS以外の独自テーマ(環境復元)の深化。法制度・宗教関連へのさらなる関与。
- **水:** CFC, Krの適用明確化。モデルWGへのインプットとアウトプット。表流水・地下水間の水資源転換の影響評価のシナリオ。
- **重力:** GRACEの流域レベルへのダウンスケール。現場重力測定による水収支評価改善の精度。モデルと現場データのリンク。
- **物質:** 水質測定値の一般化(都市の発達段階との関連)。物質負荷(社会経済Gとの強い連携)評価。沿岸地下水(評価委)
- **地下熱:** 逆解析統一基準による地表面温度復元。都市気候・土地利用との関連性の明確化。
- **GIS・DB-WG:** 7都市3時代土地利用GISmap完成。公表Toolの構築
- **モデルWG:** 7都市モデルの枠組を決定し、データ収集を完成。各都市流域詳細モデルの調整。
- **法制度・宗教:** バンコク・ジャカルタを中心に自然系Gデータの活用と現地カウンターパートを通しての調査依頼・データ収集

## Database—WG (白木)

### (1) 土地利用変化GIS(7都市3時代)

東京・大阪・バンコク・ジャカルタ・マニラ・タイペイ・ソウルの7都市すべて

3時代区分(1930-1970-2000)・500mメッシュ

H19: 東京・大阪の3時代+他の最新時代区分

H20: 残りすべて→進捗状況(山下・白木)

### • (2) Database

プロジェクト終了後の公開の仕方も含めて議論

9

## Model WG (安元)

### (1) 7都市比較モデル→安元

### (2) 各都市流域詳細モデル→都市により担当者の2通りの地下水モデルを完成させる。

(1)に関しては、GISの3時代区分に合わせて1930-1960-2000を中心にした10年の平均を求め、都市毎・年毎の比較を行う

(2)に関してはすべての都市を対象とはせず、モデル自体は都市で異なっても可とし、最低限の共通事項のみモデルWGで議論する。

10

## STOTEN特集号(現状)

論文投稿→Aug.2007

査読終了→Apr.2008

November 2008: 著者校正

December 2008: 特集号印刷

HP担当(英語/日本語: 安元・白木)



## Newsletter担当(山本)

• Nov.1 (2006年 4月 発行済み)

• Nov.2 (2006年 10月 発行済み)

• Nov.3 (2007年 4月 発行済み)

• Nov.4 (2007年 10月 発行済み)

• Nov.5 (2008年 4月 発行済み)

• Nov.6 (2008年 10月 発行予定)

一般用とメンバー限定用  
成果論文をpdfで置く  
→今年度の成果を至急事務局まで

11

## 今年度・国際会議成果公表

### • 成果公表国際会議 (1)



HydroChange2008

地球研・IAHS共催(2008年10月1-3日京都)

• 出版"From headwater to the ocean" CRC press

### • 成果公表国際会議 (2)

IAH2008富山

2008年10月30-11月1日

### • 成果公表国際会議 (3)

地下水国際シンポ(バンコク)

2009年2月15-20日

事務局から発表要請(経費は事務局もち)



12

## 今年度Project関連会議

- (1) 地球惑星合同大会 2008年5月25-30日
- (2) 都市会議(ソウル)2008年6月12-13日  
社会経済G+ 谷口・遠藤
- (3) AOGS(プサン)2008年6月16-21日
- (4) サミット外相会議 2008年6月25-27日  
地球研ブースに代表プロジェクトとしてポスター展示
- (5) 陸水学会シンポジウム2008年10月12日  
物質班+事務局
- (6) 地下プロ全体会議(メンバー全員参加要請)  
11月10-11日: 霧ヶ浦
- (7) 地球研プロジェクト報告会(2008年12月10-12日)コアメンバー
- (8) AGU(地下水セッション)2008年12月15-20日
- (9) 2009年2月: 「水と文明」シンポジウム(人間文化研究機構主催)で地下プロ成果発表

13

## 成果公表(学術雑誌)

最終評価(2010年2月)まで

- (1) Hydrological Process 特集号(締め切り12月末まで延長)水班を中心に提案→辻村  
・「陸水雑誌」特集号  
物質班中心に提案→小野寺  
・熱・重力→?  
・社会経済・都市地理→?  
・GIS特集号→山下(雑誌「GIS—理論と応用—)
- (2) プロジェクト全体最終特集号  
Springer (1)雑誌の特集→谷口(未定)  
(2) 3<sup>rd</sup> International Symposium  
(Nov 2009, Taipei)を本にする

14

## 出版 1. (Springer) 予定

### Advanced management of groundwater and subsurface environment - Human impacts on urban subsurface environment in Asia-

Preface

- |   |   |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Subsurface environmental problems in Asia</li> <li>2 What is the subsurface environmental problem?</li> <li>3 Hydro-environment changes and their impacts on the subsurface environment in Asian cities</li> <li>4 Urban development in Seoul and its implications on water supply and demand</li> <li>5 Urban development and environmental problems in Asian Mega cities</li> <li>6 Groundwater management from the viewpoint of law and institution</li> <li>7 Groundwater degradation and resources management</li> <li>8 Groundwater resources analysis by gravity measurement</li> <li>9 Groundwater resources assessment in Asia</li> <li>10 Human impacts on subsurface environment in Jakarta, Indonesia</li> <li>11 Groundwater management in Bangkok, Thailand</li> <li>12 Evaluation of changes in terrestrial water storage by satellite GRACE</li> <li>13 Groundwater contamination and loads to the ocean</li> <li>14 Nutrient budget and discharge by groundwater in Asia</li> <li>15 Submarine groundwater discharge into the coastal zone</li> <li>16 Groundwater and soil pollution status in Asian subsurface environment</li> <li>17 Reconstruction of metal pollution history of metro Manila</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>18 Subsurface thermal anomalies due to global warming and urbanization</li> <li>19 Reconstruction of climate variation from borehole temperature</li> <li>20 Subsurface thermal anomaly due to urbanization in Taiwan</li> <li>21 Reconstruction of urbanization history from groundwater temperature</li> <li>22 3D analyses of subsurface temperature under the changes of land cover/use in Osaka</li> <li>23 Integrated assessment of subsurface environment in Asia</li> <li>24 Urbanization process in Asian cities and its implications on water supply and demand</li> <li>25 Coopering with change in reliable water resources in Asia</li> <li>26 History of groundwater pollution in Asian cities</li> <li>27 Subsurface thermal anomaly due to global warming and urbanization in Asia</li> <li>28 An integrated model of subsurface environment in seven Asian cities</li> <li>29 Sustainable use of subsurface environment in Asia</li> </ol> <p>Index List of Authors</p> |
|---|---|
- 原稿締め切り: 2009年11月(台湾シンポ)  
15page x 24編 = 360 page

## 出版2(教科書)予定

### タイトル: 「アジアの地下環境」 —残された地球環境問題—

出版社: 学報社  
対象: 学部学生・一般教養 A5版  
編集: 谷口 著者: 谷口・嶋田・福田・山野・金子・吉越・小野寺・遠藤  
計8名、各30px9 = 270p  
スケジュール計画: 原稿締め切り: 2009年8月1日、出版2010年2月

はじめに	谷口真人(地球研)
地下環境問題とは	吉越昭久(立命大)
アジアの都市変遷と水環境変化	金子慎治(広島大)
都市環境と社会経済の発展	嶋田 純(熊本大)
アジアの地下水問題	福田洋一(京都大)
人工衛星と現場重力測定による地下水資源評価	小野寺真一(広島大)
地下水汚染・土壌汚染と都市化	山野 誠(東京大)
アジアの地下熱環境	遠藤崇浩(地球研)
アジアの法制度と地下水	谷口真人(地球研)
提言—地下環境の未来	
索引	
著者一覧	

15

## 1. 活動報告

### (1) KRIHS and RIHN Joint International Symposium

社会経済班の企画により 2008 年 6 月 12 日に KRIHS (Korea Research Institute for Human Settlements) と地球研との合同シンポジウムを開催した。約 60 名の研究者が参加し、都市化と持続可能な発展に関する研究交流を行った。社会経済班からの 5 名、谷口リーダーを含む計 7 名が本プロジェクトから参加した。

### (2) 研究会、他のチームとの合同会議

- ・ 社会経済班と物質班は合同で、2008 年 4 月 24 日に広島大学大学院国際協力研究科において地球研客員研究員の Dr. Robert によるセミナー "Groundwater Resources Management in the Greater Jakarta Area" (第 152 回 IDEC アジアセミナー) を開催した。約 40 名の参加。
- ・ KRIHS との合同シンポジウムの翌日ソウル駅の会議室において、社会経済班の班会議を開催した。本年度の研究計画、予算計画について議論した。当初、現地調査として計画していた 9 月のジャカルタ調査はラマダンのため延期することとなった。2009 年 3 月での実施を検討中。
- ・ 2008 年 9 月 6 日(土) 13:30-17:00、広島大学で開催された物質班の会議に参加し、今後の連携について協議した。海底堆積物における重金属の濃度変化の履歴に説明を加えるために社会経済的、政策的な背景情報をまとめることで連携できることで合意。窒素濃度については農業由来がカバーできていないことから、たちまちの連携は困難であるとの認識で一致。

### (3) HydroChange

社会経済班のメンバーが本プロジェクトに直接、間接に関連する研究論文 8 編に参加、また、口頭発表のみ 1 件に参加した。このうち、4 編の論文、1 件の口頭発表は直接本プロジェクトの研究成果である。

## 2. 主な研究成果

### (1) マニラとジャカルタの洪水調査

マニラとジャカルタの沿岸地域では地下水の過剰くみ上げによる地盤沈下が原因のひとつとなって高潮による沿岸洪水が発生している。また、地盤沈下はいったん洪水が発生すると洪水の排水を困難にするため洪水被害の拡大をもたらしている。こうした状況について社会経済班では昨年度末から数回に渡ってそれぞれの都市で洪水に対する住民調査による被害額の推計や意識調査などを実施した。ジャカルタでは、2008 年 3 月 6 日～16 日に

Penjaringan 地区と Pluit 地区をあわせて約 300 世帯を対象にヒアリングによる調査を実施した。マニラでは、KAMANAVA 地域の 4 つの都市(Kaloocan, Malabon, Navotas, Valenzuela)で 2008 年 3 月から 4 月にかけて数回に分けて合計 300 世帯、5 学校、8 企業に対してヒアリング調査を実施した。今後は結果の解析、集約、地盤沈下の被害コストへの一般化などについて研究を継続する。

## (2) 窒素管理

SFA(Substance Flow Analysis)による窒素フロー分析は、データの入手しやすい東京(1960-2004)、台湾(1970-2004)の分析結果をもとに、データの入手しにくい途上国都市における分析例として北京市を対象に 2020 年までのシナリオ分析を行った。本プロジェクトで対象となるバンコク、ジャカルタ、マニラに対しても同様の分析手法の適用可能性が高い。今後の課題としては食料の供給に限定したものから農業、産業などの部門を含めた分析にしていける必要がある。

窒素除去率の推計にとって下水道の役割は重要である。指標の整備されていないバンコクの下水道処理施設のデータを積み上げて時系列の処理率について指標化した。これを東京都と比較した結果、バンコクにおける 2000 年以降の普及速度は東京の約 2 倍程度はやいことが分かった。今後は他の都市について同様の指標化を試みる。

一方で、東京(江戸)を対象として下水道普及以前の都市における「し尿」発生量と周辺農地の下肥需要との関係に関する分析では、対象年次を増やした。その結果、1850 年から 1900 年の間に需給バランスが逆転していることが分かった。この結果は 1900 年に下水道法と汚物掃除法が制定されたことと整合的である。

都市と周辺農村地域との関係においては、流域全体の窒素フローを把握するために GIS ベースの SWAT(Soil & Water Assessment Tool)を用いた取組みを始めた。取り急ぎ、マニラを対象に基礎データを整備した。

## (3) その他の研究と発展論

都市発展と地下開発の指標化の一環として、地下における物質ストックの推計を行い地上部との比較を行った。具体的には日本全国の都道府県別に 1945 年から 2005 年までの建築物・道路・下水道を対象に土・木材・鋼材などを積み上げて推計した。1975 年に地上ストックが 30 億トン、地下ストックが 36 億トンでほぼ均衡していたのに対し、2005 年では地上ストック 67 億トン、地下ストック 82 億トンと地下ストックが卓越する傾向にある。こうした比率は地下開発を示すひとつの指標になりうる。

発展論については、これまでに集めた指標をデータベース化すると共に、代表的な指標について選定を行っているところである。上記研究成果を集約するひとつの方向として、この選定した指標を整備し、さらに指標間の関係を DPSIR のフレームに沿って分析することを最終ゴールとしたい。

## 社会経済班の活動・成果報告

2008年11月10日

広島大学  
金子 慎治

1

## 報告内容

- 活動報告
  - KRIHS and RIHN Joint International Symposium
  - 班会議(2008年6月13日、2009年1月)
  - 現地調査(2008年12月マニラ、2009年3月ジャカルタ)
- 研究成果
  - 政策評価
    - 洪水被害の経済評価
    - 大阪の公共下水道による工業排水対策
  - 窒素循環・管理
    - SFA
    - SWAT
  - その他と指標
    - 下水道整備
    - 地下開発度
- 今後の予定

2

### KRIHS and RIHN Joint International Symposium

- The Korea Research Institute for Human Settlements (KRIHS) in South Korea conducted a joint international symposium with the Research Institute for Humanity and Nature (RIHN) of Japan.
- The first activity based on the agreement between two institutions at Bali, Indonesia in December 2008.
- This was also part of the commemoration of the 30th year of foundation of KRIHS
- This was held on June 12, 2008 at KRIHS.
- "Urban Sustainability in Asia: Urban Planning, Environment and Transportation."
- Approximately 60 participants: Taniguchi, Endo, Kaneko, Fujikura, Fujiwara, Imai, BJ Lee

3

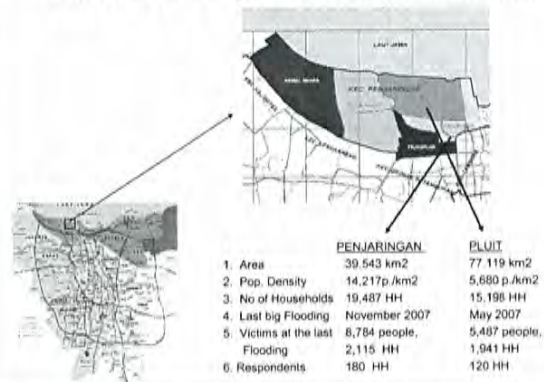


## 洪水被害の経済評価

- 背景
  - 地下水の過剰くみ上げに起因して深刻化する途上国都市沿岸の地盤沈下は、河川氾濫による洪水のみならず、高潮による洪水が発生、慢性化している。
  - 今後の対策を考える上で、被害状況や被害額、住民の対策に対する意識・支払い意志額などの情報が必要
- Penjaringan(ジャカルタ)、KAMANAVA(マニラ)で住民調査を実施し、洪水被害額の推計を行った。

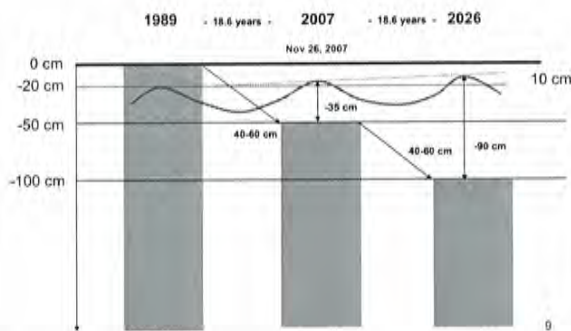
7

## Location of Penjaringan District, Jakarta



8

## 洪水発生の背景



9

## Mixed causes of the flooding at the study site



- High tide
- Collapse of dike
- Land subsidence
- Illegal houses at river bank
- Dumped garbage at river bank
- Luck of capacity of drainage system and reservoirs
- Poor households

10

## Outline of the survey



- March 6-16, 2008
- Face-face interviews by local surveyors
- Samples
  - Penjaringan: 180 => 175
  - Pluit: 120 => 95
- Economic losses:
  - Income loss
  - Extra costs for transportation and drinking water
  - Damage on property
- WTP for counter measurements

11

## Economic Impact

	Penjaringan	Pluit
Income Losses	Rp 125,580,000	Rp 149,678,000
Off works (days)	1,929	1,255
Income loss/days	Rp 65,101	Rp 119,625
Min-Max days of off works	1-120 days	2-150 days
Min-Max income losses	Rp 30 thousand - Rp 18 million	Rp 30 thousand - Rp 30 million
Total property losses	Rp 416,782,000	Rp 493,300,000
Min-Max property losses/HH	Rp 50 thousand - Rp 28 million	Rp 150 thousand - Rp 100 million
Avoidance cost	Rp 23,229,000	Rp 62,620,000
Average increasing cost for water (drinking)	65.45%/people	117.12%/people
Average increasing transport cost	291.75%	203.62%
Average increasing cost for taking a bath and washing	93.31%/people	200.97%/people

12

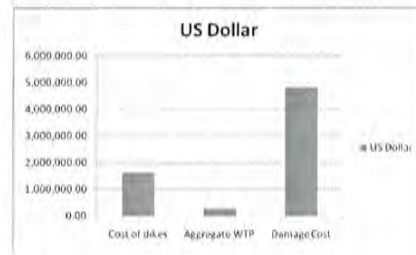


## Average damage and additional costs of flooding per household

No.	Damage impact	Penjaringan	Pluit	Average damage for two areas
1	Property loss/damage	Rp 3,474,183 (USD 377.3)	Rp 4,110,833 (USD 446.4)	Rp 3,792,508 (USD 411.9)
2	Income losses	Rp 831,544 (USD 90.3)	Rp 1,247,316 (USD 135.5)	Rp 1,039,430 (USD 112.9)
3	Health cost	Rp 79,450 (USD 8.6)	Rp 48,283 (USD 5.2)	Rp 63,866.5 (USD 6.9)
4	Avoiding cost	Rp 129,050 (USD 14.0)	Rp 521,833 (USD 56.7)	Rp 325,441.5 (USD 35.3)
5	Transport cost	Rp 10,639 (USD 1.2)	Rp 6,588 (USD 0.7)	Rp 17,227 (USD 1.9)
6	Water cost	Rp 22,610 (USD 2.46)	Rp 32,270 (USD 3.5)	Rp 27,740 (USD 3.01)
	<b>Average damage cost/household</b>	<b>Rp 757,912.6 (USD 82.3)</b>	<b>Rp 994,520.5 (USD 108.1)</b>	<b>Rp 877,702 (USD 95.3)</b>

(1 USD = Rp 9208) based on bank Indonesia (2008) 13

## Comparison of the costs



14

## Location of KAMANAVA area



The KAMANAVA area is in the northern part of Manila Bay (colored in green in the map).

The KAMANAVA area is composed of the cities of **Kalookan (Caloocan), Malabon, Navotas and Valenzuela.**

Area: 18.48 km<sup>2</sup>

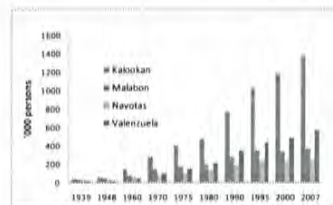
The KAMANAVA area is a low-lying and flat land with an elevation of -0.5 to 1.5 m above mean sea level of Manila Bay and is located in the estuary delta of Malabon-Tullahan River.

The topographical characteristics make this area prone to flooding caused by heavy rainfall, high water level in rivers, and high tide at Manila Bay.

Fig. 1. Map of Metro Manila.

15

## Population growth in KAMANAVA



In 2007, the population of Metro Manila is around 11.5 million and the number of people in the KAMANAVA area is 22% of this total population.

Population density (2000)  
(persons/ sq.km)

Metro Manila: 15, 686  
Manila City: 63, 294

Kalookan: 21, 104  
Malabon: 10, 382  
Navotas: 25, 772  
Valenzuela: 10,324

16

## Components of the survey

- Interview questionnaires
  - 300 households in select villages ("barangays") in KAMANAVA
  - 8 small and medium scale companies;
  - 5 schools

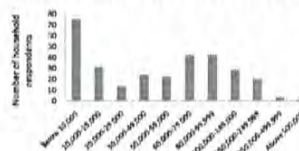
Contents:

- Flooding incidences, causes of floods, height and duration of flood waters
- Cost estimates (cost of damage to structures, cost of transportation, cost of illness, cost of mitigation)



## Characteristics of respondents

Number of respondents based on income levels



Most respondents are from low income levels – most vulnerable to impacts of flooding



18

## Initial results of survey



- Flood frequencies vary, with an average of 32 flooding days in a year, depending on the location and drainage capacities
- 1 area in Malabon is still flooded since 2004 but more than 120 families continue to live in the area.
- Floods occur more frequently from June to September due to a combination of heavy rains and high tide.
- Height range of floodwater is from 0.25 m to more than 2m
- Duration of floodwater inside the house/ building is from 1-7 days.

19

## Flood impacts on households



1. Damages to structures, furniture, appliances
2. Loss of income
3. Increased health risks
4. Increased transportation and cleaning costs
5. Additional costs for mitigation
  - placement of barriers
  - land-filling
  - raising the level of houses

## Average household expenses due to floods

	Annual expenses in PhP (USD)	Mitigation cost in PhP (USD)
<b>Kalookan</b>	3848 (80)	36021 (745)
<b>Malabon</b>	3383 (70)	50145 (1032)
<b>Navotas</b>	5773 (119)	64054 (1318)
<b>Valenzuela</b>	1663 (34)	6157 (127)

Annual expenses include: cost of damage, transportation, cleaning and illness

Mitigation costs include: placing of barriers, land-filling, or raising the level of houses.

Households with high income spent as much as PhP2 million (USD 40,561) to build a higher house to avoid floodwaters from coming in

21

## Average HH damage costs (1-time big flood)

	PhP	USD
<b>Kalookan</b>	7045	146
<b>Malabon</b>	20550	425
<b>Navotas</b>	17219	356
<b>Valenzuela</b>	7933	164
<b>Average</b>	13187	273

Household (HH) damage costs include: damaged structures, furniture, and appliances, transportation, cleaning, and illness

22

## Flood impacts on companies

- Floodwater prevention measures:
  - land-filling, raising the level of building and/or building a new one
- Loss of income, cost of cleaning, cost of property damages, especially to floors, water supply and sewer facilities.



Cost of flood mitigation: PhP20,000-PhP5 million (USD404 – 101,150).

23

## Flood impacts on schools

- For schools, aside from cost of damage to properties, flooding prevents the children to come to attend classes because of difficult accessibility.
- In some cases, schools are also used as evacuation centers for nearby residents affected by floods.
- Classes have to be extended in a year in exchange for the days when the schools were closed due to floods.



Photo from Prof. Sirangan



24

## Flood prevention activities – by government



Polder dikes



Sandbagging



Flood control gates 25

## Initial analysis from the survey

- As flooding in the KAMANAVA area becomes almost a daily phenomenon, households spend more on mitigation activities, which is dependent on income
- Damage cost estimates from household seem low as these are perceived amount of respondents.
  - more comprehensive calculation of cost is needed to derive a more realistic damage cost estimate.
  - additional parameters are needed to estimate cost of illness or health risks
- Additional information is needed to analyze the damage estimates for companies and schools. This could be elaborated in case studies.
- This study needs to include flood prevention activities done by government and their cost-effectiveness.

26

## 政策分析

- 都市の排水処理(民生用(家庭、業務)、工業用)に関して東京、大阪=>ソウル、台北の経験をレビューし、マニラ、ジャカルタ、バンコクへのレッスンを抽出する

27

## History of Industrial Waste Water Treatment by Sewerage System in Osaka City



Ryo Fujikura  
Hosei University

## Tokyo's Rivers in 1970



29

## Sewerage in Osaka City

Osaka municipal ordinance of sewerage was amended in 1960. It stipulated quality standard of waste water discharged from factories. However, waste water was not actually monitored.

Untreated waste water often damaged or clogged sewers. A number of complaints against offensive odor were submitted.

Around 1970, BOD of river water in the downtown exceeded 65mg/L. It sometime exceeded 200 mg/L

30

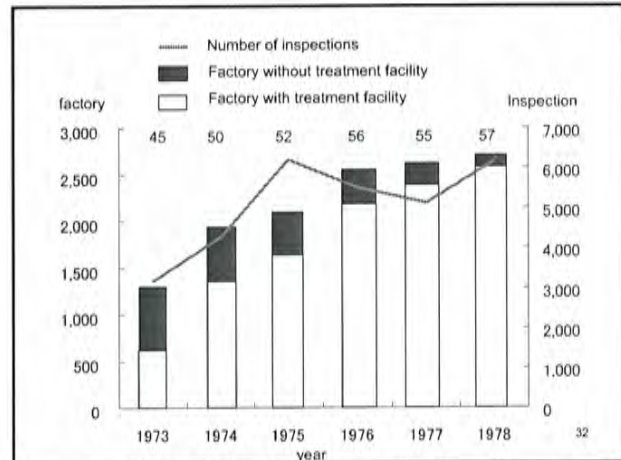
## Sewerage in Osaka City

Osaka municipal government established Water Monitoring Division in 1972, and actually started water quality monitoring.

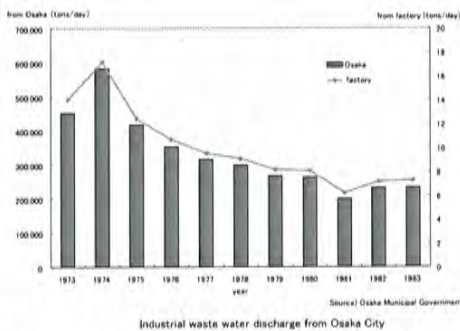
Osaka Prefecture Police established Pollution Control Division. It exposed violation of the ordinance in collaboration with the municipal government.



31



32



Total amount of industrial waste water was decreased of 40.2% during 1974 – 1983. This seems to be attributed to gradual increasing waste water tariff system introduced in 1972 and "Water quality tariff" introduced in 1973.

33

Administrative cost of industrial waste water monitoring in Osaka (FY2002)

Facilities subjected to site inspection: approximately 3,000  
Site inspections: 8,600 times per year, and 2.9 times per one facility per year

Site inspection officers: 18 (14 was full-time inspectors)

Number of inspections conducted by one inspection team consisted with 2 inspectors: 452 per year

34

### Advantage of accepting industrial waste water to sewage

Tariff is a strong incentive for factories to reduce and recycle waster.

If waste water does not contain toxic substances such as heavy metals (such as food processing industry), factories need not treat waste water.

### Disadvantage of accepting industrial waste water to sewage

Water treatment facility must be installed and operated at factories using toxic substances.

If a sewerage system collect all waste water and directly discharged into the sea, water recycling will be inhibited.

Tariff seldom does not include construction cost of the sewerage system. It does not correspond with polluter pays principle.

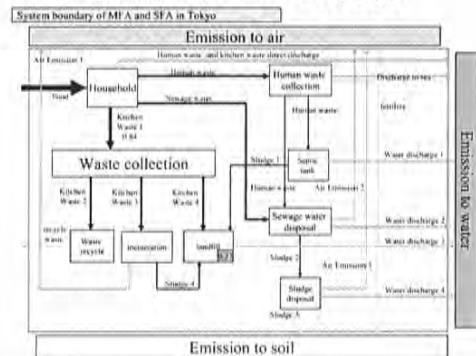
It is inefficient to treat water after mixing industrial water of high BOD with sewage of low BOD.

## 窒素循環・管理に関する研究

- 家庭部門を対象とした食料由来の窒素に関するSFA (Substance Flow Analysis)
- 江戸の窒素バランス
- SWAT (Soil & Water Assessment Tool)
  - 農業を含む流域全体の窒素フロー
  - GISベースの空間分析

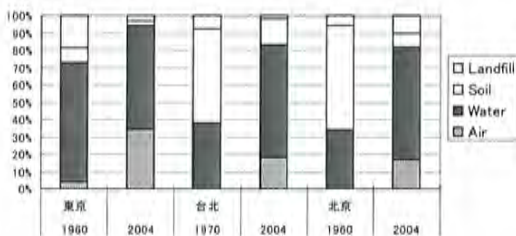
37

## 分析のシステム境界



38

## 窒素の排出先の変化(3都市)



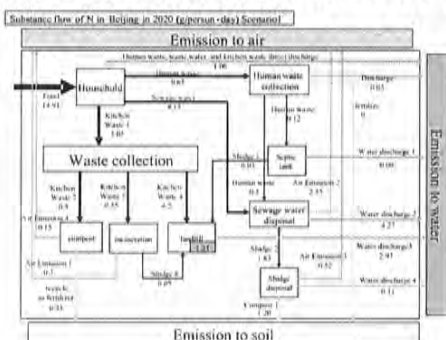
39

## シナリオ分析の条件設定 : 北京を対象とした例

- シナリオ1: 一般廃棄物は主に埋立地で処置される; し尿の直接収集は下水システムの普及率を上げる共に段々減っている; 下水汚泥は堆肥して肥料として使う。
- シナリオ2: 一般廃棄物は主に焼却で処置される; し尿の直接収集は下水システムの普及率を上げる共に段々減っている; 下水汚泥は嫌氣的消化されて発生したメタンガスを利用する。
- シナリオ3: 一般廃棄物は北京の計画通りに処置される; し尿は直接収集して堆肥する; 下水汚泥は堆肥して肥料として使う。

40

## 北京の窒素循環(2020年シナリオ1)



A: 24%  
W: 57%  
S: 10%  
L: 9%

41

## これまでの成果(1/2)

- 東京、北京と台北市を対象として、長期間の窒素フローを分析した。対象年は、東京と北京が1960-2000年、台北市が1970-2004年である。食料消費から、大気、水、土壌への放出を、マテリアルフロー分析(MFA)、物質フロー分析(SFA)の手法により定量化した。
  - 1960年以降、東京では1人1日あたり窒素供給量が徐々に増加したのに対し、北京と台北では急速に増加した。家庭の食料消費による窒素負荷の増加が経済の発展とよく比例していることがわかった。
  - し尿、下水の汚泥などを元々肥料として使っていたが、公衆衛生の問題と化学肥料の普及によって肥料としての使用が減った。
  - 窒素の大部分は、し尿として水域に排出される。それは、都市にとって大きな環境負荷の原因となる可能性を意味する。
  - 廃棄物の焼却や排水処理の普及により、窒素の水域への排出を大気への排出へと変化させていることも示せた。厨芥ごみや下水汚泥のリサイクルも、水域への排出削減に寄与している現状が明らかになった。

42

## これまでの成果(2/2)

- 北京の廃棄物、し尿と下水処理方式をシナリオ分析により、窒素循環への影響を分析した。
  - 窒素が焼却、下水処理により窒素酸化物に変化している。その結果、脱硝装置のための費用が年々増加していることがわかる。
  - 厨芥の堆肥化、し尿の収集・堆肥化、汚泥の堆肥化など、窒素を肥料として再利用することが、窒素による汚染と脱硝費用の削減につながる。

43

## 今後の課題(1/2)

- 物質循環の分析対象の拡大
  - 対象期間の延伸
    - 20~50年について分析してきた
    - back castのためにはモデル化が必要
  - 対象都市
    - Tokyo, Taipei, Beijingは終了
    - 他の都市を分析(Bangkok, Manila, Jakarta, Seoul, Osakaなど)
  - 対象セクターの拡大
    - 食料消費を対象に分析してきた
    - 対象セクターを事業系、農業、工業セクターに拡大して、都市全体の人間活動を対象として分析する
  - 対象物質の拡大
    - 窒素について分析してきた
    - 対象物質を食物の主な栄養物質(炭素、リン)に拡大する
    - さらに、循環に付随する環境負荷としてCO2を取り上げる

44

## 今後の課題(2/2)

- 都市物質循環のモデル化とシナリオ分析
  - 物質循環の支配方程式の取得とモデルの構築
    - アジア各都市で採用されている物質循環を支配する技術・対策の諸元を入手し、データベースを構築する
    - それとともに、物質フローの駆動力となる人口、経済発展、人間活動(食生活)と、物質フローの制御変数となる処理システムをモデル化する
    - 処理システムを選択することで変化する物質フローを再現する。その際、物質フローに付随するエネルギー消費、GHGだけでなく、衛生面、安全面及び経済面(建設費用、運営コストなど)についても扱えるモデルとする
    - 以上により、都市の食物由来物質循環システムを統合的に評価できるモデルを構築する
  - シナリオ分析によって将来のシステム構築の提言
    - 構築されたモデルを用いて、アジア大都市を対象に、過去の人間活動による地下への環境影響を再現する
    - シナリオ分析によって、環境面(GHG排出、富栄養化など)、衛生面、安全面及び経済面(建設費用、運営コストなど)への影響について、シナリオ間の比較を行う

45

## 農地に対する 窒素と磷の必要量から推定した 江戸時代末期の 関東地方南部における し尿の需給関係

46

## 背景

- 「江戸時代には循環型社会形成に向けたヒントが無数にみられる」(環境省 2001)
- さまざまなリサイクル業者がいた。
  - 古着屋、古傘買い、提灯の張替屋
  - 焼接(やきつぎ)屋、蠟燭の流れ買い
- ただし、これらの行為は経済的動機に基づいたもの。

## し尿の利用(下肥)

- し尿の回収と利用はリサイクルの好例。
- ↑↓
- 農村に需要が存在するという経済的動機から収集されたにすぎない。し尿排除の社会システムが江戸に整備されていたわけではない(岩淵 1997)。

## これまでの筆者らの到達点(藤倉他 2006)

- 江戸から排出されるし尿は、江戸近郊農村で下肥として消費し尽くされていたのか？
- 1885年データを用いて下肥の需給バランスを推定。
  - 供給量 ⇒ 窒素・燐の発生量
  - 需要量 ⇒ 窒素・燐の投入量
 比較分析
- 下肥は即効性の肥料として、当時、かなりの需要があった。

## 次の疑問

- 需要過多であったから、江戸からし尿は排除された。



- 江戸から明治にかけて、どの時点から、し尿は「不要物」になったのか。
- 明治33年(1900年):下水道法と汚物清掃法の公布との関係

50

## 方法論

- 江戸近郊農家で需要される窒素・燐の総量と江戸から発生するし尿由来の窒素・燐の総量とを比較し、「需給・バランス」を時代ごとに比較する。

51

## 単位面積に投入される窒素・燐の推定

- 江戸時代は現代と同等以上の肥料集約農業であったと考えられているので、現在の東京都の施肥基準と同様と仮定。

水田10アールあたりの投入量(kg)

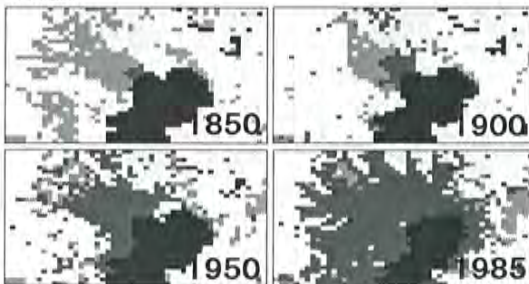
	窒素	燐酸
江戸時代(吉田(1975)による推定値)	6~12	4~5
東京都施肥基準(現代)	4~6	5~7

- 畑地の投入量も東京都の施肥基準と同じと仮定。

52

## 窒素・燐の投入総量の推定

- 1850、1900、1950、1985年の4時点の国土利用図を用い、江戸集落(■)の近郊における水田(□)及び畑地(■)の面積を算出。



## 窒素・燐の投入量の推定

- 江戸から離れるほど下肥の投入割合は低下するため(渡辺1983)、近郊をA~Dゾーンに区分し、投入率をゾーン別に設定。(Cゾーンにあたる東葛飾郡の大正期における重量比投入率40%)

ゾーン	江戸からの距離(里)				投入率
	東	西	南	北	
A	3	2	2	1	25%
B	6	5.5	4	3	10%
C	9	9	6	5	5%
D	Cゾーン圏外				0%

各ゾーンにある村落の例

ゾーン	当時の地名	現在の地名	年代	距離(里)	主たる肥料
A	葛飾郡桑川村	江戸川区江戸川	1794	2.5	下肥
	荏原郡碑文谷村	目黒区碑文谷	1869	2.0	下肥、糞
B	荏原郡太子堂村	世田谷区太子堂	1843	3.0	下肥、馬糞
	足立郡根岸村	さいたま市南区根岸	1804	3.5	メ粕、豆腐から、下肥
C	多摩郡西窪新田	武蔵野市緑町	1714	6.0	下肥、灰、芝草、馬糞肥
	多摩郡梶野新田	小金井市梶野町	1756	7.0	下肥、馬糞肥、糞、灰、馬糞
D	葛飾郡上金崎村	春日部市上金崎	1843	9.5	草肥、下肥
	多摩郡山崎村	町田市山崎町	1843	10.0	下肥、干草、馬糞、糞、メ粕

55

千葉県東葛飾郡の肥料利用状況(大正9年)

肥料種別	施肥量(貫)	価格(円)	単価(円/貫)	重量比(%)	支出比(%)
自給					
堆肥	23,577,000	825,195	0.035	72.9	31.2
緑肥	640,285	16,007	0.025	2.0	0.6
小計	24,217,285	841,202	0.035	74.9	31.8
購入					
大豆粕	704,124	300,770	0.427	2.2	11.4
菜種油粕	63,630	54,339	0.854	0.2	2.1
魚肥	214,573	267,280	1.246	0.7	10.1
過燐酸石灰類	697,800	199,727	0.286	2.2	7.5
糞	823,562	206,334	0.251	2.5	7.8
わら灰	518,821	72,692	0.140	1.6	2.7
東京人糞	1,332,327	285,721	0.214	4.1	10.8
東京鹿芥	2,782,078	67,782	0.024	8.6	2.6
その他	993,280	350,356	0.353	3.1	13.2
小計	8,130,195	1,805,001	0.222	25.1	68.2
合計	32,347,480	2,646,203		100.0	100.0

56

分析結果:窒素の収支

年度	ゾーン	江戸からの距離(里)				実質供給率(%)	窒素									
		東郊	西郊	南郊	北郊		水田				畑地					
		原単位	施肥量	面積	投入量	原単位	施肥量	面積	投入量	原単位	施肥量	面積	投入量			
1850	A	3.0	2.0	2.0	1.0	25	1.50	140	210	4.50	204	918	18.0	1.80	404	727
	B	6.0	5.5	4.0	3.0	10	0.60	296	178	1.80	264	475	18.0	1.80	264	475
	C	9.5	9.0	6.0	5.0	5	0.30	436	131	0.90	548	493	18.0	0.90	548	493
	合計	-	-	-	-	-	-	872	519	-	1,156	2,139	-	-	-	-
1900	A	3.0	2.0	2.0	1.0	25	1.50	120	180	4.50	108	486	18.0	1.80	264	475
	B	6.0	5.5	4.0	3.0	10	0.60	268	173	1.80	264	475	18.0	1.80	264	475
	C	9.5	9.0	6.0	5.0	5	0.30	480	144	0.90	88	79	18.0	0.90	88	79
	合計	-	-	-	-	-	-	868	497	-	460	1,040	-	-	-	-
1950	A	3.0	2.0	2.0	1.0	25	1.50	44	66	4.50	0	0	18.0	1.80	104	187
	B	6.0	5.5	4.0	3.0	10	0.60	152	91	1.80	104	187	18.0	1.80	104	187
	C	9.5	9.0	6.0	5.0	5	0.30	486	146	0.90	244	220	18.0	0.90	244	220
	合計	-	-	-	-	-	-	684	304	-	348	407	-	-	-	-
1985	A	3.0	2.0	2.0	1.0	25	1.50	0	0	4.50	0	0	18.0	1.80	28	50
	B	6.0	5.5	4.0	3.0	10	0.60	28	17	1.80	28	50	18.0	1.80	28	50
	C	9.5	9.0	6.0	5.0	5	0.30	328	98	0.90	212	191	18.0	0.90	212	191
	合計	-	-	-	-	-	-	356	115	-	240	244	-	-	-	-

分析結果:燐の収支

年度	ゾーン	江戸からの距離(里)				実質供給率(%)	燐									
		東郊	西郊	南郊	北郊		水田				畑地					
		原単位	施肥量	面積	投入量	原単位	施肥量	面積	投入量	原単位	施肥量	面積	投入量			
1850	A	3.0	2.0	2.0	1.0	25	0.55	140	77	1.10	204	224	4.4	0.44	404	178
	B	6.0	5.5	4.0	3.0	10	0.22	296	65	0.66	264	475	4.4	0.44	264	475
	C	9.5	9.0	6.0	5.0	5	0.11	436	48	0.33	548	493	4.4	0.44	548	493
	合計	-	-	-	-	-	-	872	190	-	1,156	2,139	-	-	-	-
1900	A	3.0	2.0	2.0	1.0	25	0.55	120	66	1.10	108	119	4.4	0.44	264	116
	B	6.0	5.5	4.0	3.0	10	0.22	268	63	0.66	264	475	4.4	0.44	264	475
	C	9.5	9.0	6.0	5.0	5	0.11	480	53	0.33	88	19	4.4	0.44	88	19
	合計	-	-	-	-	-	-	868	162	-	460	254	-	-	-	-
1950	A	3.0	2.0	2.0	1.0	25	0.55	44	24	1.10	0	0	4.4	0.44	104	46
	B	6.0	5.5	4.0	3.0	10	0.22	152	33	0.66	104	187	4.4	0.44	104	187
	C	9.5	9.0	6.0	5.0	5	0.11	488	54	0.33	244	220	4.4	0.44	244	220
	合計	-	-	-	-	-	-	684	111	-	348	407	-	-	-	-
1985	A	3.0	2.0	2.0	1.0	25	0.55	0	0	1.10	0	0	4.4	0.44	28	12
	B	6.0	5.5	4.0	3.0	10	0.22	28	6	0.66	28	50	4.4	0.44	28	12
	C	9.5	9.0	6.0	5.0	5	0.11	328	36	0.33	212	191	4.4	0.44	212	191
	合計	-	-	-	-	-	-	356	42	-	240	244	-	-	-	-

窒素・燐の発生原単位の推定

- 1850、1900、1950、1985年の4時点のデータを収集
- 窒素・燐の発生量(ton/年)  
= 発生原単位(g/人・日)<sup>※1</sup> × 人口(人)<sup>※2</sup> × 365日

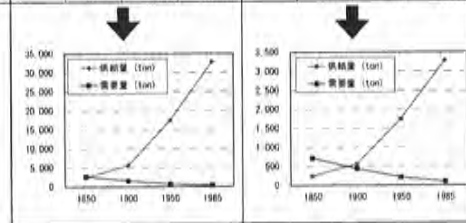
※1 中世日本の食生活を考慮して控えめに見積もる意味から1を採用。

1. 川島(1999):  
窒素: 7.6g/人・日(T-N), 燐: 0.76g/人・日(T-P)
2. 茨城県(2002):  
窒素: 9.0g/人・日(T-N), 燐: 0.77g/人・日(T-P)
3. 参考:  
A: 人糞尿の成分率: 窒素=0.55%, 燐=0.12%  
B: 1人が1日に排泄するし尿=1,500g  
A×B ⇒ 窒素: 8.25g/人・日(T-N), 燐: 0.79g/人・日(T-P)

※2 『東京都統計年鑑(平成18年度版)』から収集

分析結果のまとめ:窒素の収支バランス

年度	人口(万人)	窒素				燐			
		発生原単位(人・日(T-N))	発生量(ton)	投入量(ton)	削減(削減率)	発生原単位(人・日(T-P))	発生量(ton)	投入量(ton)	削減(削減率)
1850	87.7	2432.9	2650.8	-223.9	243.3	712.8	-469.5		
1900	201.4	1567.1	1537.2	4049.9	108.7	436.5	122.2		
1950	627.8	1743.8	710.4	16703.4	1761.4	210.6	1533.8		
1985	1182.9	3291.4	356.4	32458.3	5201.5	101.2	3180.3		





考察:下肥の収支バランス(江戸時代)

- [窒素] 江戸のし尿を近郊農家で下肥として全量使い切ることは可能であった。
- [磷] 下肥だけでは需要をまかない切れなかった可能性が否定できない。
- 寛政期や天保期には、江戸近郊農民が幕府に対して下肥の値下げを嘆願する運動が発生している。  
→ 下肥の供給不足の可能性

考察:し尿は一滴漏らさず利用されていたか?

- 下肥の需要量には季節変動があったはず。
- 江戸では、尿は肥料として用いられたが、尿はもっぱら下水に流されていたらしい。
- 屎尿の相当部分はリサイクルされていた可能性があるが、そこから「漏れ出ていた」屎尿の存在も否定できない。

1900年前後には供給過剰になっていたのではないか

- 人口増加と近郊農地の減少による需要低下
- 1900年の下水道法と汚物清掃法の公布

今後の課題

- ゾーン区分とゾーン別下肥投入率
- 明治以降、急速に普及した化学肥料(需要の低下)
- 輸送機関の進歩による遠隔地への供給(需要の拡大)
- 季節や畑地の作物による需要の差異

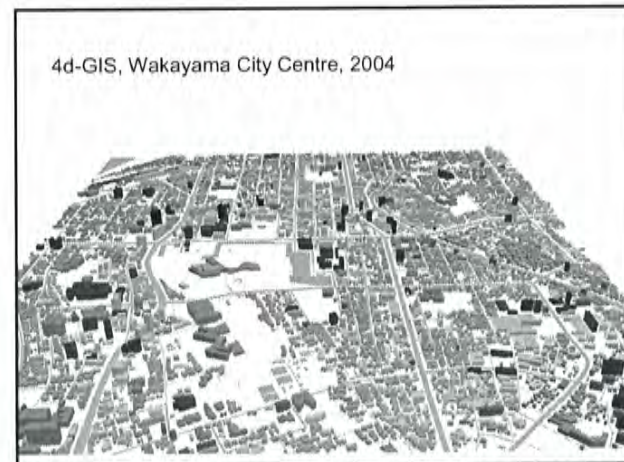
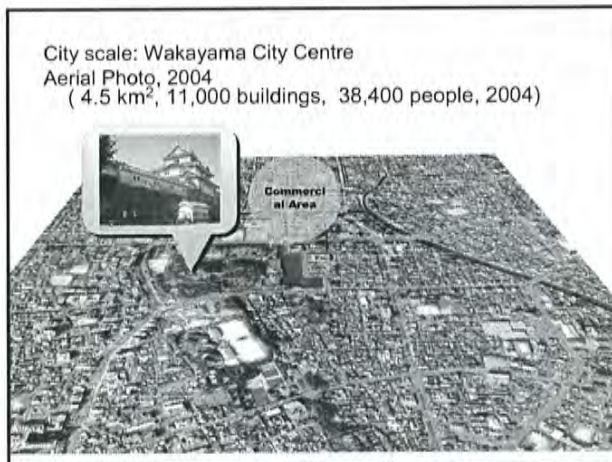
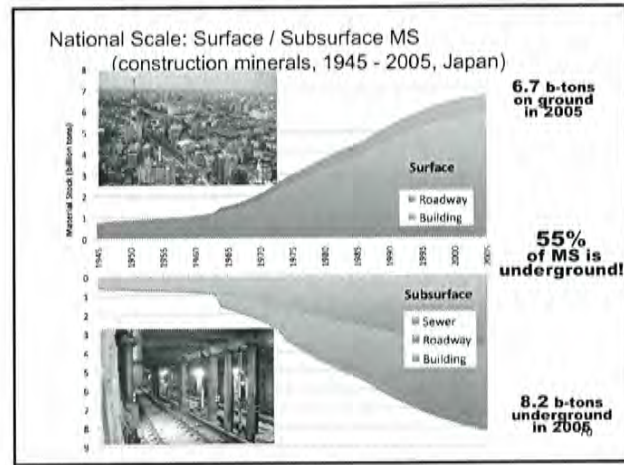
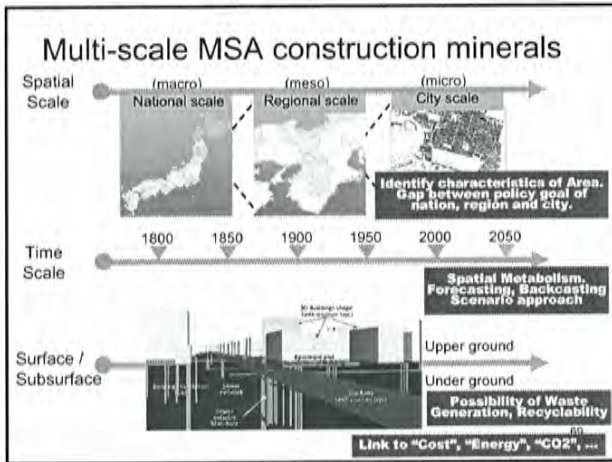
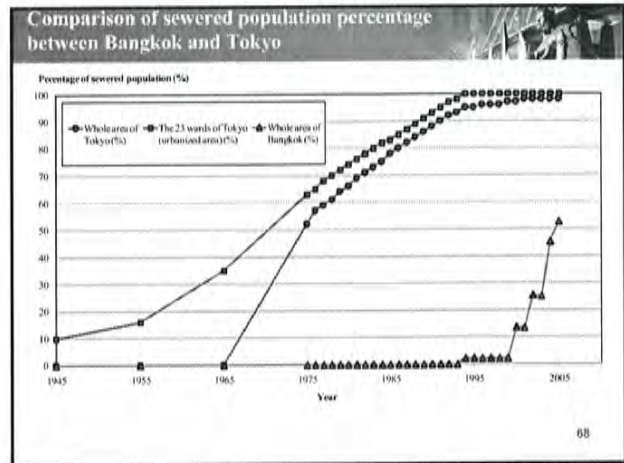
都市発展と指標化(案)

- 社会経済
- 総人口
  - 調整済み一人当たりGDP(全国値からの調整)
  - 二次産業比率(就業者比率,工業用水量)
  - 市街地面積
  - 市街地率(地図情報より)
  - 地下開発度(※2)
- 水資源
- 一人当たり水使用量
  - 地下水依存度
  - 地下水汲み上げ量
- 環境負荷
- 地盤沈下量
  - ヒートアイランド指標
  - 地下温度指標
  - 重金濃度
  - 大気汚染濃度
  - 一人当たり窒素排出量(水圏への比率)
  - 地盤沈下の経済被害額
- 対策・政策
- 下水道普及率(処理率)(※1)
  - 地下水管理の規制,法制度

65



Water Environment Control Plant	Area (km <sup>2</sup> )	Population	System	Capacity (m <sup>3</sup> /day)	Source of Fund	Cost (Million Baht)
<b>Bangkok Wastewater Treatment Project</b>						
1. Si Phraya	2.7	120,000	Contact Stabilization A.S.	30,000	BMA, 100 %	464
2. Rattanakosin	4.1	70,000	Two Stage A.S.	40,000	GOV, 100 %	883
3. Din Daeng	37	1,080,000	Activated Sludge	350,000	25 : 75	6,382
4. Chong Non Si	28.5	580,000	Cyclic Activated Sludge System	200,000	40 : 60	4,552
5. Nong Khaem	44	520,000	Vertical Loop Reactor A.S.	157,000	40 : 60	2,348
6. Thung Khru	42	177,000	Vertical Loop Reactor A.S.	65,000	40 : 60	1,760
7. Cha Tu Chak	33.4	432,000	Cyclic Activated Sludge System	150,000	60 : 40	3,482
8. Community Plant 12 Plants	-	-	-	25,700	-	-
SUM	191.7	2,979,000	-	1,017,700	-	19,871
<b>Future BMA Wastewater Treatment Project</b>						
1. Bang Sue EECP	21	250,000	Step Feed A.S.	120,000	BMA, 100 %	4,732
2. Klong Toei	56	485,000	Activated Sludge	360,000	60 : 40	9,896
3. Thon Buri	59	704,000	Activated Sludge	305,000	-	11,561
SUM	136	1,439,000	-	785,000	-	26,189



4d-GIS, Wakayama City Centre, 2002



4d-GIS, Wakayama City Centre, 1987



4d-GIS, Wakayama City Centre, 1976



4d-GIS, Wakayama City Centre, 1958



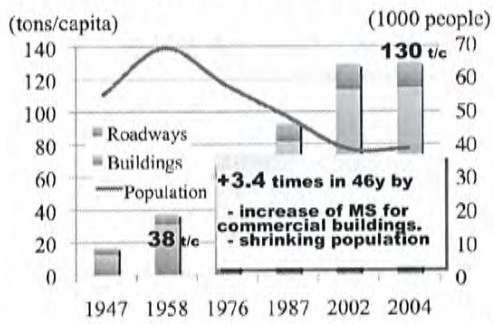
4d-GIS, Wakayama City Centre, 1947



4d-GIS, Wakayama City Centre, 1886



City Scale: Indicator, Stock per capita  
(Wakayama City Centre, 1947-2004)



79

### 最終成果のイメージ

- DPSIRによる因果関係の記述
- 都市発展と地下環境変化を示す指標化
- 政策分析と政策提言

80

## Annual Activity Report: Economic survey on the flooding in Jakarta

Shinji Kaneko and Medi Sandora

The survey in Jakarta was conducted from March 6-16, 2008. The survey aimed to elicit perception and awareness of respondents to avoid flooding through contingent valuation method and to estimate the cost of damages due to flooding. Respondents were asked about their willingness to pay (WTP) to avoid flooding. The WTP values were correlated with variables to their socio-economic background and flood risk exposure. Estimation of flood damages include cost estimates on property damages, income losses, health costs, transportation costs, water costs and cost of flood prevention activities. The number of respondents in the survey is 180 in Penjaringan and 120 in Pluit. After censoring the questionnaires for respondents seem to express protest of the scenario in his or her answers of WTP, the total number of useful questionnaires became 174 for Penjaringan and 95 for Pluit.

Jakarta is divided into six (6) municipalities: North, South, East, West, Central and Kepulauan Seribu. North Jakarta is mostly lowland area and most vulnerable to flooding. It is divided into 6 districts, which includes Penjaringan, one of the most affected areas during the flood in 2007. Penjaringan is further divided into 5 sub-districts: Kamal, Kapak, Pademangan, Penjaringan and Pluit. The recent survey was done among 300 households in the subdistricts of Penjaringan and Pluit. Penjaringan has a land area of 3.95 km<sup>2</sup> and the population is around 56,219 people. The population density is 14,217 persons/ km<sup>2</sup>. Pluit on the other hand, has a land area of 7.7 km<sup>2</sup> and a population of 43,802 persons. The population density is 5,680 persons/ km<sup>2</sup>. Most of the people in these two areas are engaged in the fish processing industries.

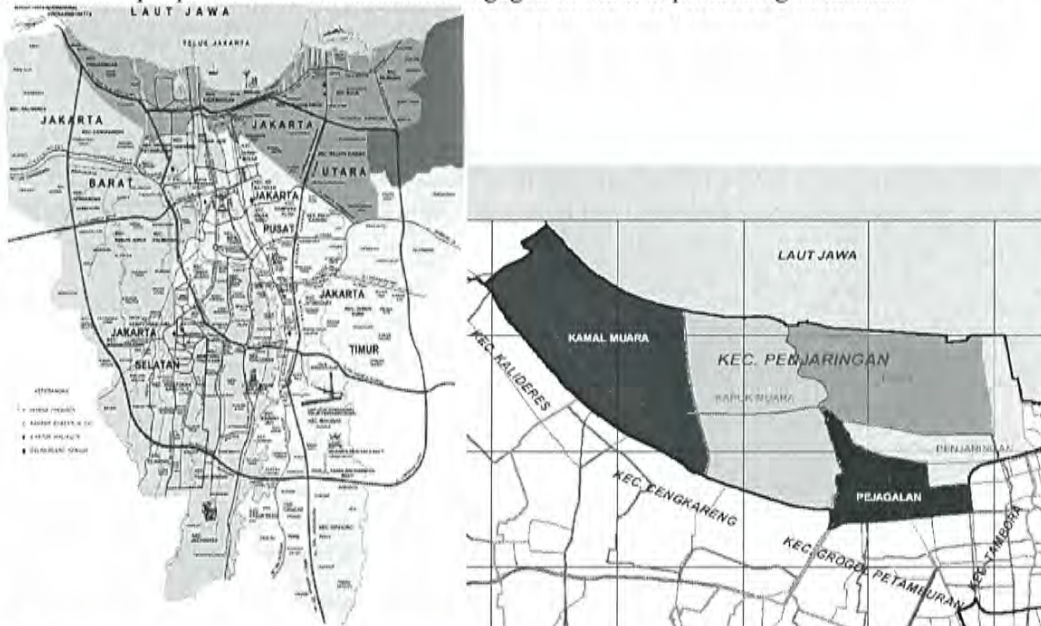


Fig. 1. Location of Jakarta and Penjaringan District



Fig 2. Transportation used during floods in Penjaringan, Jakarta

The duration of residence of the respondents in the flooding area is 1-50 years in Penjaringan and 0.9 – 35 years for Pluit. The average length of stay in both subdistricts is 18 years. When asked about the reasons to live in a flood prone area, majority of responses was the proximity to their working place (71.8% in Penjaringan and 86.31% in Pluit).

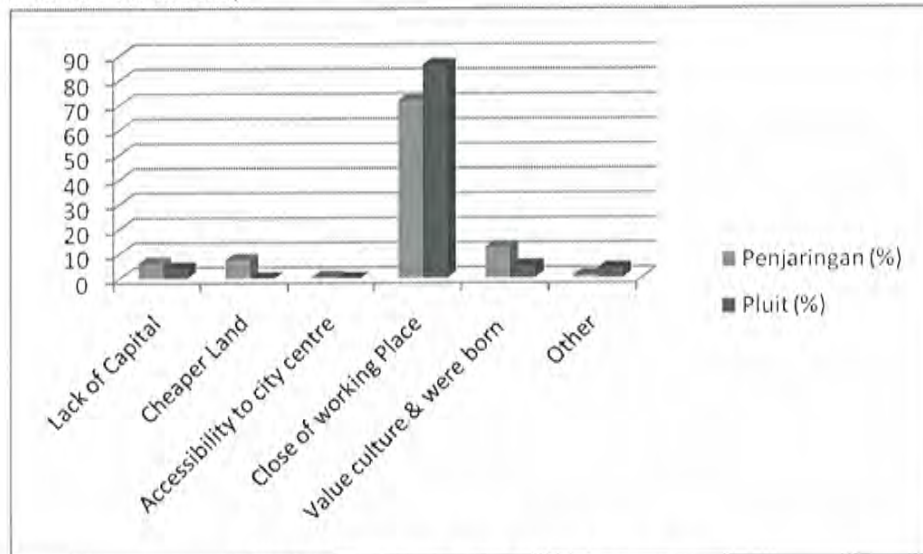


Fig. 3. Reasons to live in flood-prone areas.

The average monthly household income in Penjaringan is about Rp 1,427,442 (USD 155.16), while it is Rp 1,673,684 (USD 181.92) in Pluit. Around 25% of the households in Penjaringan and 16% of the households in Pluit have income which are below Jakarta's monthly minimum wage, which is Rp 972,604.80 (USD 105.72) in 2008.

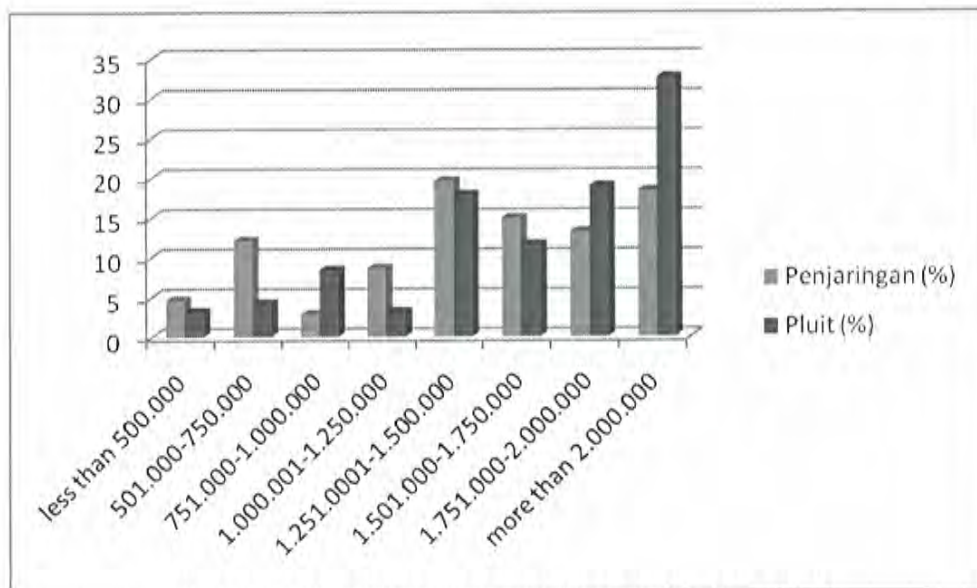


Fig. 3. Percentage of income level of respondents (in Rupiah)

The average damage cost from the flood in 2007 incurred by households in these areas is Rp 877, 702. The total estimated cost of damage of flooding in Penjaringan district in 2007 was Rp 3,559,959,312 (USD 386,952). Please see Table 1.

Table 1. Average damage cost of flooding /Household

No	Damage impact	Penjaringan	Pluit	Average damage for two areas
1	Property loss/damage	Rp 3,474,183 (USD 377.3)	Rp 4,110,833 (USD 446.4)	Rp 3,792,508 (USD 411.9)
2	Income losses	Rp 831,544 (USD 90.3)	Rp 1,247,316 (USD 135.5)	Rp 1,039,430 (USD 1129)
3	Health cost	Rp 79,450 (USD 8.6)	Rp 48,283 (USD 5.2)	Rp 63,866.5 (USD 6.9)
4	Avoiding cost	Rp 129,050 (USD 14)	Rp 521,833 (USD 56.7)	Rp 325,441.5 (USD 35.3)
5	Transport cost	Rp 10,639 (USD 1.2)	Rp 6,588 (USD 0.7)	Rp 17,227 (USD 1.9)
6	Water cost	Rp 22,610 (USD 2.46)	Rp 32,270 (USD 3.5)	Rp 27,740 (USD 3.01)
	Average damage cost/household	Rp 757,912.6 (USD 82.3)	Rp 994,520.5 (USD 108.1)	Rp 877,702 (USD 95.3)

(1 USD = Rp 9208) based on Bank Indonesia (2008)

If we look at the table above, the average damage impact value/household in these areas is quite big compared with the mean WTP. The mean WTP is Rp 46,654, which means that the mean WTP is 5.3 % of the average damage impact/household. If we compare the average damage cost with household monthly income, this damage is 61.48% of monthly income in Penjaringan and 52.44% in Pluit. Even though the damage is huge and reduce a big amount of citizen's monthly income, the WTP is lower because of the income constraints of the citizen. Education level has also contributed to a lower WTP. More than half of the respondents have maximum education in the elementary level and from the regression model, we know that education has significantly affect WTP. The lower education level makes the understanding of project scenario also low, and finally the WTP becomes low.

People whose houses were flooded longer have higher probability of WTP. People whose homes were isolated and stayed in evacuation sites longer, have lower probability of WTP. This result was not expected, but after this variable was correlated with income variable, we found that these variables have negative correlation. It means that most people who have evacuated longer come from lower income level households. They were more comfortable in evacuation places because they received donation during evacuation.

People who live near the sea have higher probability of WTP compared with the people who live far from the sea. People who live near the sea are more prone to risk from coastal flooding. Households with higher income have also higher probability of WTP.

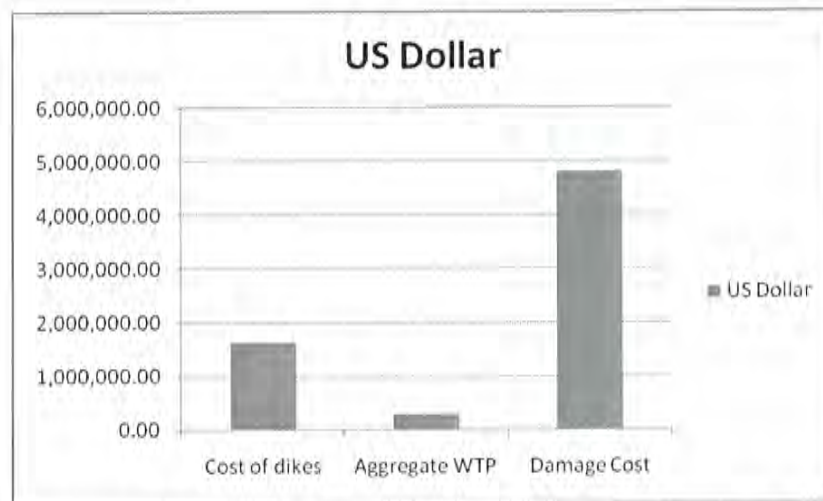


Fig 4. Comparison among damage cost, WTP, and actual cost of dike in 20 years (life time of dike)

According to Pemerintah Propinsi DKI Jakarta, the government will repair 7 dikes in Penjaringan district. The budget for the dikes is USD 1.6 million and for rehabilitation of structures along the river is USD 3million. These dikes are perceived to last for 20 years. If we aggregate the amount that the households are willing to pay, the total amount is one third of the cost of the dike. The aggregate WTP as the ability citizen to avoid flooding is one third of the cost of dike. We can also see if the project is realized, the cost of the dike can exceed the damage cost 2.95 times. This means that the project is efficient and will give huge benefits to citizen. However, it is not guaranteed that the damage will be reduced due to climate changes which result in sea level rise, and to the increasing rate of land subsidence.

As a policy recommendation, the preventive program on flooding should not only include structural measures such as repairs of dike, but also non-structural measures, such as early warning systems and information campaigns. Restrictions on groundwater abstraction and improvement of water infrastructures are also necessary in order to minimize land subsidence.



人間社会において持続可能な社会の実現のためには環境問題の解決が不可欠である。都市化は主に人口増加によって生じ、都市の集中度とその空間的な広がりには様々な要素（経済活動、社会サービス、インフラ、交通網、政治など）に関係する。都市における多くの環境問題はその発展と同時に生じてきた。中でも地下空間における環境問題は目に触れないだけに特に着目すべき問題である。しかしながら、過去において都市域における地下空間に関する環境問題はほとんど研究がなされてこなかった。特に、地下空間における「水」は都市域において極めて重要な役割を担っている。したがって、本研究では都市域の地下空間の「水」の一つである下水道の発達に焦点をあてた。具体的には先進国（日本の東京）と発展途上国（タイのバンコク）との双方における下水道の発達の比較研究を実施した。この2つのアジアにおけるメガシティにおいて下水道（主に下水処理施設）建設の歴史的比較を行った。主な結果は以下のグラフに示すとおりで、東京の都心部（23区）における下水道の発達（20年で40%）に比較して、バンコクにおける下水道の発達は極めて急速（ほぼ5年で50%の増加）である。ただし、バンコクの下水道普及率は下水処理場の処理能力から推定した値であり、実際に下水道に接続している人口ではない。一般に下水道への接続に要する費用は接続する人の個人負担であるため、下水道に接続するのが遅くなる（敬遠される）ことが多い。したがって、急速に下水処理場の建設が進んでいるバンコクではあるが、実際の下水道への接続人口はそれをかなり下回っていると予想される。このように、近年の発展途上国における下水処理場の建設は極めて急速に進みつつあるが、実際に下水道へ接続している人口はまだ少なく、その対策が急務である。以上の結果から、これら先進国と発展途上国における2つのメガシティにおける下水道の発達に関する違いが明らかとなった。

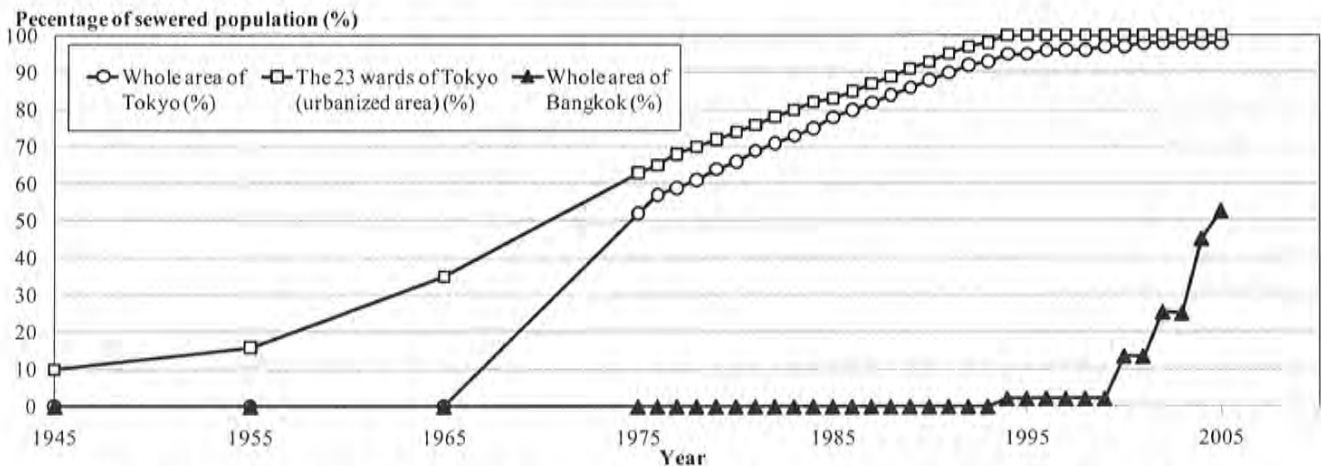


Figure. Comparison of sewered population percentage between Bangkok and Tokyo

## **Socio-economic impacts of flooding in the KAMANAVA area, Metro Manila**

*Karen Ann B. Jago-on, Shinji Kaneko, Akimasa Fujiwara and Fernando Siringan*

Uncontrolled groundwater abstraction in Metro Manila has lowered groundwater levels and is one of the factors that caused land subsidence. Land subsidence has aggravated the effects of flooding, especially in the northern part of Metro Manila – the KAMANAVA area. This area is a low-lying and flat land with an elevation of -0.5 to 1.5 m above mean sea level of Manila Bay and is located in the estuary delta of Malabon-Tullahan River. The topographical characteristics make this area prone to flooding caused by heavy rainfall, high water level in rivers, and high tide at Manila Bay. The KAMANAVA is particularly vulnerable to floods due to continued land subsidence and urbanization. This area comprises 22% of the total population of Metro Manila. People continue to suffer from high cost of damages and health risks. Frequent flooding has also brought huge economic losses and disturbance to commercial, industrial, social and other productive activities in the area.

In order to evaluate the socio-economic impacts of frequent flooding, a questionnaire survey was conducted in the selected villages (“barangays”) of the 4 cities in the KAMANAVA area (**K**aloocan, **M**alabon, **N**avotas and **V**alenzuela). The respondents were divided into 3: households, institutions and companies. Three hundred (300) households, 5 schools and 8 companies were chosen as respondents. Initial survey results reveal that flood frequencies in different areas in the KAMANAVA vary, with an average of 32 flooding days in a year, depending on the location and drainage capacities of the area. Some areas however, are flooded more than 80 days in a year, and one particular area in Malabon has been submerged in floodwaters since 2004. Floods occur more frequently from June to September, with a combination of heavy rainfall from typhoons and incidences of high tide. During this period, the height range of floodwater is from 0.25m to more than 2 m, and average duration of floodwater inside the house/building is from 1- 7 days.

In order to mitigate future damage to flooding, residents have embarked on mitigation measures such as land-filling, raising the level of house, building a new house, sandbagging and placing barriers. For the past recent years, household expense for these measures is around PhP54,262 (USD 1,010). Households with high income spent as much as PhP2 million (USD 40,561) to build a higher house to avoid floodwaters from coming in. The annual average cost of expenses for damages, cleaning, transportation and illness/injury due to frequent floods is around PhP6000 (USD 121). The amount revealed by respondents is quite small, however, this amount does not include damages that households incur when one-time heavy floods occur. Further analysis and review should be done for more reliable cost estimates.

Similar with households, companies or enterprises spend a big amount for floodwater prevention measures, such as land-filling, raising the level of buildings or building a new one. Cost for these measures vary from PhP20,000-PhP5 million (USD404 – 101,150). Other costs include loss of income, cost of cleaning, cost of property damages, especially to floors, water supply and sewer facilities. For schools, aside from cost of damage to properties, flooding prevents the children to come to attend classes because of difficult accessibility. In some cases, schools are also used as evacuation centers for nearby residents affected by floods.

Analysis from the survey will help us understand the magnitude of effects of flooding and will guide us to formulate concrete and practical steps to alleviate the living conditions of the people in the affected areas.

## SWAT と MODFLOW の統合による土地利用と地下水流動の分析フレームワークについて

田中勝也（滋賀大学）

### はじめに

SWAT モデルは流域単位で水収支を分析するモデルとして地域を問わず広く応用されているが、地下水流動を予測する部分に大きな制約がある(Gassman *et al.* 2007)。MODFLOW モデルは地下水流動を解析するソフトウェアとして事実上の標準となりつつあるが、表層水の動態がモデルに十分反映されず、地下水涵養量の精度に問題が生ずる可能性がある(Kim *et al.* 2008)。両モデルの欠点を克服すべく SWAT と MODFLOW を統合した、Kim *et al.* (2008)による SWAT-MODFLOW モデルを紹介し、本プロジェクトへの適用可能性を検討する。

### SWAT-MODFLOW モデル

SWAT と MODFLOW を統合する試みは 1990 年代後半より進められているが、その多くは SWAT と MODFLOW を個別に運用し、両者の結果を組み合わせたものである(例えば Sophocleous and Perkins 2000; Galbiati *et al.* 2006)。それら既存研究と異なり、Kim *et al.* (2008)が開発した SWAT-MODFLOW モデルは、SWAT と MODFLOW を統合させ両者の欠点を補完した分析の枠組みである。具体的には、SWAT モデルから地下水流動のモジュールを取り除き、その部分を MODFLOW モデルで置き換えた形式をとっている。異なる強み（と弱み）を持つ 2 つのモデルを組み合わせ・補完することで、土地利用の変化と地下水流動の関係性を、高い精度で予測することが可能となる(図)。

SWAT と MODFLOW では分析に用いられる空間的な最小単位が大きくこととなり、両モデルを統合する上での障壁となってきた。SWAT-MODFLOW モデルでは SWAT の HRU と MODFLOW の Cell を空間的に重ね合わせ、両者が持つ情報を組み合わせて地下水の涵養・蒸発散量を予測するモジュールを備える。この機能により、表層水と地下水の動態を単一のモデル枠組み内で分析することができる。モデルの技術的な詳細は、Kim *et al.* (2008)を参照されたい。

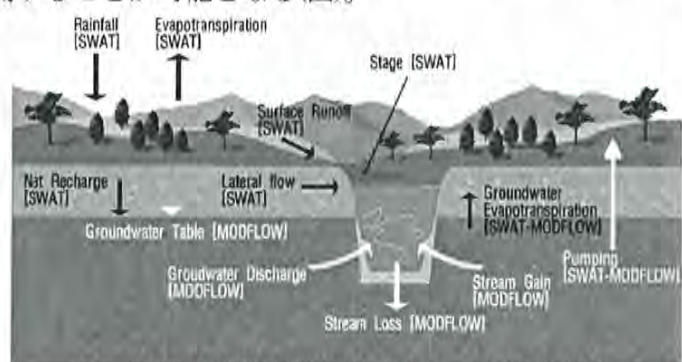


図. SWAT と MODFLOW の統合による分析枠組み  
出所: Kim *et al.* (2008)

### 今後の課題

SWAT-MODFLOW モデルには技術的な制約・問題点も存在するが、表層水と地下水の動態を有機的に統合し、現実的なモデルを構築する大きな可能性を持っていると考えられる。本プロジェクトにおいても地上の経済活動が浅層・深層地下水の動態に与える影響を考察する上で、適用の余地は大きいといえる。報告者はマニラへの適用を検討しているが、同時に MODFLOW による分析が先行している地域(例えばバンコク・東京)に対しても試験的なモデル構築を行い、SWAT-MODFLOW の妥当性・適用可能性について検証を進めたい。

### 参考文献

- Galbiati, L., Bouraoui, F., Elorza, F.J., Bidoglio, G., "Modeling diffuse pollution loading into a Mediterranean lagoon: development and application of an integrated surface-subsurface model tool." *Ecological Modeling* 193 (1-2), 4-18, 2006.
- Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H., Arnold, J.G. "The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions." *Transaction of ASABE*, 50 (4), 1211-1250, 2007.
- Kim, N. W.; Chung, I. M.; Won, Y. S. and Arnold, J. G. "Development and Application of the Integrated Swat? Modflow Model." *Journal of hydrology*, 356(1-2), pp. 1-16, 2008.
- Sophocleous, M. and Perkins, S. P. "Methodology and Application of Combined Watershed and Ground-Water Models in Kansas." *Journal of hydrology*, 236(3-4), pp. 185-201, 2000.

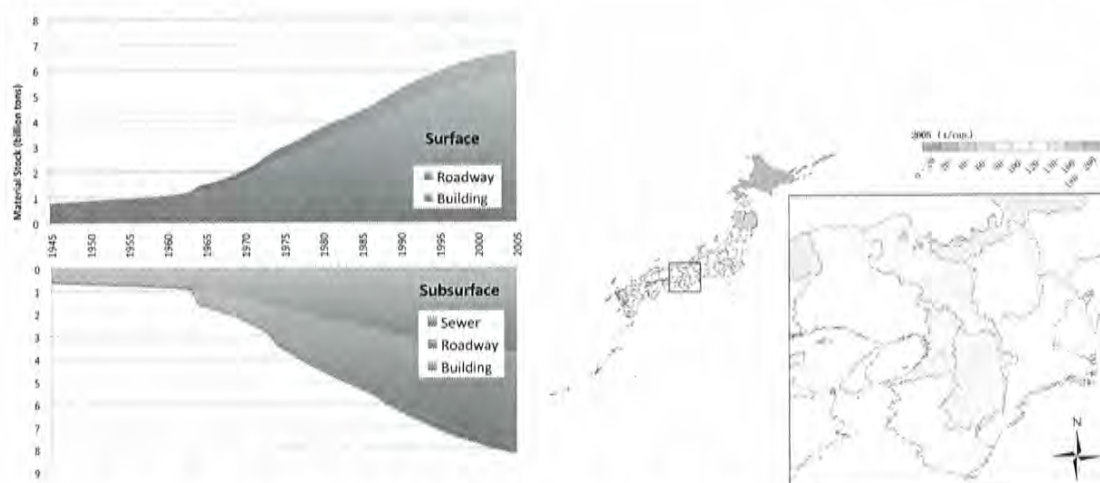
## 全国の都道府県における地下と地上の建設ストックの経年推計に関する研究

和歌山大学 谷川寛樹

広島大学 金子慎治

高度経済成長期に大量に蓄積された都市構造物の多くが耐用年数を迎え、今後廃棄物が大量に発生すると予想される。持続可能な社会を構築するためには廃棄物のフローや物質の投入量を少なく抑える必要がある。

このため計画的に解体や撤去、修繕をするために、都市構造物の物質別でのストックを把握する必要がある。そこで本研究では、建築物・道路・下水道を対象に構造物の地上と地下へ投入、蓄積される資材量を統計データを用いて推計し、地上のストック量及び人間の目には触れない地下のストック量を明らかにする。その結果、1975年全体の地上ストックは30億トン、地下ストックは36億トンで、2005年の地上ストックは67億トン、地下ストックは82億トンであった。1975年と2005年の全体のストック量を比較すると2.3倍増加していることが分かった。



左図：地上と地下における建設関連ストックの推移（日本，1945-2005）

右図：全国の一人あたりストック分布（2005，近畿地区拡大）

農地に対する窒素と磷の必要量から推定した  
江戸時代末期の関東地方南部におけるし尿の需給関係

藤倉 良\*・金子 慎治\*\*・澤津 直也\*\*\*

本研究では、江戸末期以降の関東地方南部における、下肥利用を目的とした「し尿」の需給バランス変化を定量的に把握することを目的とし、窒素と磷の需給バランスを推定するため、1850年、1900年、1950年、1985年の4時点の各種データを収集した。

窒素と磷の投入量（需要量）は、国土利用図を基に、江戸集落を起点とした距離に応じて、A, B, Cの3ゾーンに区分し、さらに水田と畑地それぞれへの投入原単位、施肥量、面積等を考慮して求めた。窒素と磷の発生量（供給量）は、発生原単位に各時点の東京都の人口を乗じることで求めることができる。以上を基に需給バランスを推定した結果を表1に整理する。

本研究の推算により、江戸時代末期（1850年）は、し尿のみでは、窒素も磷も需要を満たすことができないが、1900年前には、し尿による窒素と磷の需給バランスは逆転し、し尿の経済価値がマクロ的には失われていると推定された。1900年に、下水道法と汚物掃除法が制定されているが、この時期に下水道整備が着手された背景には、し尿が過剰になって、雨水と共に都市から排除する必要性が高まったことがあると考えられる。この需給逆転の原因には、都市化に伴う人口増加と農地の減少、化学肥料の増加による農業の近代化、コレラ流行に伴う衛生に対する考え方の変化等の複合要因が考えられるが、影響の度合い等に関しては引き続き検討を進める必要がある。

表1 窒素と磷の需給バランス（1850・1900・1950・1985）

年度	人口 (万人)	窒素			磷				
		発生原単位 (人・日(T-N))	発生量 ⇒供給量 (ton/年)	投入量 ⇒需要量 (ton)	需給 バランス (供給-需要) (ton)	発生原単位 (人・日(T-P))	発生量 ⇒供給量 (ton/年)	投入量 ⇒需要量 (ton)	需給 バランス (供給-需要) (ton)
1850 <sup>(注)</sup>	87.7	7.6	2432.9	2656.8	-223.9	0.76	243.3	712.8	-469.5
1900	201.4		5587.1	1537.2	4049.9		558.7	436.5	122.2
1950	627.8		17413.8	710.4	16703.4		1741.4	210.8	1530.6
1985	1182.9		32814.7	356.4	32458.3		3281.5	101.2	3180.3

(注) 統計収集上の制約により1850年の人口は1875年データで代替している。

(出所) 人口データは、『東京都統計年鑑(平成18年度版)』。

\* 法政大学人間環境学部 Faculty of Humanity and Environment, Hosei University

〒102-8160 千代田区富士見 2-17-1 E-mail: fujikura@hosei.ac.jp

\*\* 広島大学大学院国際協力研究科 E-mail: kshinji@hiroshima-u.ac.jp

\*\*\* 財団法人日中経済協会 E-mail: naoya.sawazu@jc-web.or.jp

## Impact of Municipal Waste and Waste Water Management Change on Nutrients Flow to Surface Water and Ground Water in Asian Mega-cities

松本 亨・薛 咏海

Toru Matsumoto and Yonghai Xue

北九州市立大学国際環境工学部

The University of Kitakyushu

### Abstract:

In this research, long-term nutrient (Nitrogen) flow of Tokyo, Beijing (1960-2004), and Taipei (1970-2004) was analyzed. Substance Flow Analysis were used for quantifying nutrient flow from food supply to household consumption, then discharged as waste or waste water to treatment and disposal system, after treatment emit into environment as emission to water, air and soil. In urban area, the nutrient mostly emitted as human waste, which was traditionally considered as fertilizer in Asian cities, but with increase concern on health problem and using of chemical fertilizer, reuse human waste as fertilizer decreased. Scenario shows great potential of recover Nitrogen from human waste which was traditionally treated as fertilizer before prevailing use of chemical fertilizer. Recover of Nitrogen could not only reduce emission to environment but also reduce the use of chemical fertilizer.

After comparison of Nitrogen flow in past 40 years, scenario analysis were used for determine the impact of municipal waste and wastewater management change on nutrients flow to surface water and ground water in Beijing.

We assumed Beijing will keep on improve their waste and wastewater management. The Nitrogen supply from food will increase to 14.51 g/capita/day. Municipal waste amount will keep on increasing to reach 8.6 million ton in 2020 (XUE, 2008). Wastewater treatment rate will reach 90% (Government of Beijing, 2006). In 2020, the system will be following three scenarios:

- Scenario 1: Municipal waste will be mainly disposed in landfill. Human waste collection decrease with increase of sewage system. Sludge from wastewater treatment will be composted and used as fertilizer in agriculture.
- Scenario 2: Municipal waste will be mainly incinerated. Human waste collection decrease with increase of sewage system. Sludge from wastewater treatment will be anaerobic digested for generating biogas.
- Scenario 3: Municipal waste will be treated according Beijing's plan (EEGBG, 2003), in 2020 the compost rate reach 30% and incinerate rate reach 35%, the rest will be landfilled. Human waste collection will keep on operating and collected human waste will be composted. Sludge from wastewater treatment will be composted and used as fertilizer in agriculture.

The result shows the most of Nitrogen, about 70% was emitted as human waste into nature, human waste collection system or sewage system. Therefore, how to deal with human waste has great influence on Nitrogen flow. Most traditional change in treatment of human waste is decrease of direct use and collection of human waste and increase use of sewage system, which proved to be difficult for recovery of Nitrogen as fertilizer because of higher heavy metal content in wastewater.

Scenario analysis shows great potential of recover Nitrogen from human waste which was traditionally treated as fertilizer before prevailing use of chemical fertilizer. Recover of Nitrogen could not only reduce emission to environment but also reduce the use of chemical fertilizer.

For the future research, this research will expand SFA to not only food related nitrogen but also food related carbon and phosphor. The system boundary should be expanded to the whole city level including commercial, industry and agriculture sectors. Based on results of SFA, the system should be analyzed according to different views like greenhouse gas emission, hygienic and cost.

## 都市地理 S G の今年度の研究内容

### 【共通で行う研究】

★ 「各都市の発展に関する基礎的研究」

(各都市について、文献・地形図・空中写真・統計などをもとに都市の発展をいくつかの時期区分をしながら、その時期ごとに主として空間的な発展の経緯を明らかにする。) 各都市について、それぞれ主担当を決めているので、そのメンバーを中心に実行する。

★ 「各都市の水環境の変遷に関する基礎的研究」

(各都市について、文献・地形図・空中写真などをもとに、河川・水路・湿地・湖沼などの変遷、地下水位などに関する地図化を行う。) 各都市について、それぞれ主担当を決めているので、そのメンバーを中心に実行する。

★ 各都市の地図・空中写真の収集 (継続)

★ 各都市の文献・統計類の収集 (継続)

### 【メンバーの個人が主体となって行う研究】 (判明分のみ記載)

★ 「各都市における宗教施設の分布と、水環境との関わり」(谷口智)

各都市における生活空間と井戸の分布から、都市の発展段階で異なる水利用形態を研究する。

★ 「土地利用分布からみたアジアのメガシティにおける空間構造の比較」(山下)

1927年・1967年・2001年頃の地図を用いて、土地利用分布から各都市の空間構造について、その変遷・比較を研究する。

★ 「東南アジアにおける首位(メガ)都市の空間構造」(加藤)

都市を構成するその背後地や国内の農村部、国外を含めて捉えることで、東南アジアのメガシティの特性を解明する。

★ 「都市の地下環境に残る人間活動の影響」(遠藤)

日本(大阪)とタイ(バンコク)の両都市における地盤沈下対策の理論的考察を加えながら、比較研究を行う。

★ 「ソウルと台北における水環境変化の比較研究」(吉越)

ソウルと台北を例に、戦前の水環境変化がいかなる理由によって引き起こされたのかを研究する。

★ 「台北の都市発展と都市気温の上昇」(白)

台北の都市気温は、110年で1.5℃の上昇をみており、最低気温10℃以下の日数も年々減少する傾向にあることがわかった。

★ 「都市化と宗教施設の分布および水文環境との関係」(香川)

仏教・キリスト教・イスラム教などの宗教施設と都市化の関係、水文環境との関係を研究する。

《各都市に共通する要因・個別の要因》

都市の発展	核を中心に周辺へと発展するパターンは共通している。 都市の拡大に伴って鉄道が果たした役割 大は（東京・大阪） 小は（マニラ・ジャカルタ）
	副都心の発達が顕著（マニラ・ジャカルタ）
	地下鉄が発達（東京・大阪・ソウル・タイペイ）
	地下鉄の発達時期 早いのは（東京・大阪） それに続くのは（ソウル・タイペイ）
水環境の変遷	都市の発達が河川・水路の消滅につながったのはどこも共通する。
	水路の利用 活発（バンコク） 多少あり（東京・大阪・ソウル・タイペイ・ジャカルタ・マニラ）
	地下水利用 微少（東京・大阪） 普通（ソウル・タイペイ） 大量（バンコク・ジャカルタ・マニラ）
	地下水障害 大（マニラ・ジャカルタ・バンコク） 中（タイペイ） 小（ソウル・東京・大阪）
宗教施設	多い（バンコク） 普通（東京・大阪・ソウル・タイペイ・マニラ・ジャカルタ） 水環境に関係（バンコク・ジャカルタ） 無関係（東京・大阪・ソウル・マニラ）

《各都市において 20 年後に予想される環境問題》

1. 東京 都市の高温化と水資源不足？感染症の増加、地下水位上昇に伴う諸問題、高潮
2. 大阪 都市の高温化と水資源不足？感染症の増加、地下水位上昇に伴う諸問題、高潮
3. ソウル 都市の高温化と水資源不足？
4. タイペイ 都市の高温化と水資源不足？
5. マニラ 地下水の塩水化と水質汚濁、高潮、大気汚染
6. バンコク 地下水の塩水化と水質汚濁
7. ジャカルタ 地下水の塩水化と水質汚濁、高潮、大気汚染、



## 「ソウルと台北における水環境変化の比較研究」

吉越昭久（立命館大学文学部）

**【目的・方法】** ソウルと台北は、第二次世界大戦まで日本の統治を受けてきたことと、本プロジェクトで対象としているアジアの諸都市の中では、発展段階的には東京・大阪に次ぐ段階の都市として位置づけられるという点では共通する条件を持つ。しかし、それ以前の都市の起源やその後の発達過程、および戦後の発展経緯は多少異なっている。

では、両都市における水環境についてはどのようなことがいえるのであろうか。両都市の自然環境の違いによって、河川の分布や形態などが大きく異なるのは当然予想されることであるが、都市の発展に伴って水環境がどのような変化を受けたかを検討することは、これまでほとんど行われてこなかった。

その方法は、これまで刊行された地図を利用して比較することで行いたい。対象とする時期は、1900年頃から第二次世界大戦頃までである。この期間には、日本が作成した外邦図が使用できるし、それ以外にも両都市に関するかなりの数の地図が公刊され、公開されている。第二次世界大戦後になると共に、地図の公開が制限される時期があり、同様な方法がとりにくくなる。戦後の時期における比較は、後の課題としておきたい。

**【ソウルの都市発展と水環境の変化】** ソウルは、1394年以来李朝の首都となり漢城と呼ばれたが、1910年に日韓併合によって京城と改称された。その後、都市化が進行し、周辺地域を併合して1936年には府域を4倍に拡大させて、戦後の解放後、ソウルとなり1946年には特別市になっている。

1907年「最新京城全図」には、城壁で囲まれた中を清溪川が南および北から小河川を合流させながら東流している様子が描かれ、当時の京城における唯一・最大の河川として扱われている。その後、1910年「京城市街全図」から以降に刊行された地図からは、南西部の龍山地域の発展に伴って、京城の城壁外であるが、南流して漢江に合流する旭川も描かれるようになっていく。（戦後になると、この清溪川を暗渠化してその上を高速道路にすることになるが、この変化はソウルの水環境を捉えるうえで、大きな出来事である。2005年には、清溪川は復活されて、大きな話題となった。）

**【台北の都市発展と水環境の変化】** 台北は、1875年に清政府によって台北府が設置されたことで本格的な都市としての形を整え、1885年に台湾省の省都となり近代都市として発展することになる。1895年に日本の統治が始まり、台湾総督府がここに置かれて、道路などのインフラの整備が行われた。

1905年「台北市区改正図」や1914年「台北市街図」にも見られるように、当時の台北市街地は、淡水河とその支流の基隆河・新店溪に挟まれた比較的狭い範囲にあった。その後、市街地の拡大に伴って、主に基隆河周辺に見られた湿地や河川の曲流部を埋め立てている。また、淡水河周辺に存在した多くの池も埋められていった。

**【両都市の比較】** 両都市における戦前の水環境で大きな相違は、ソウルが殆ど変化を見せなかったのに対して、台北では湿地・池などの埋め立てが活発に行われた点である。その違いは、両都市における降水量の違いと都市の位置を考えねばならない。台北の年間降水量は2,300mmであるが、ソウルのそれは1,350mmに満たない。さらに、台北の市街地は大河である淡水河の周辺に展開し洪水の危険性が高かったのに対して、ソウルの市街地は中小河川沿いであって、洪水の危険性がさほど高くはなかった。つまり、台北は洪水対策なしでは、都市の発展は望めなかったのである。

## 都市地理SGの研究課題

2008.11.10  
立命館大学文学部  
吉越 昭久

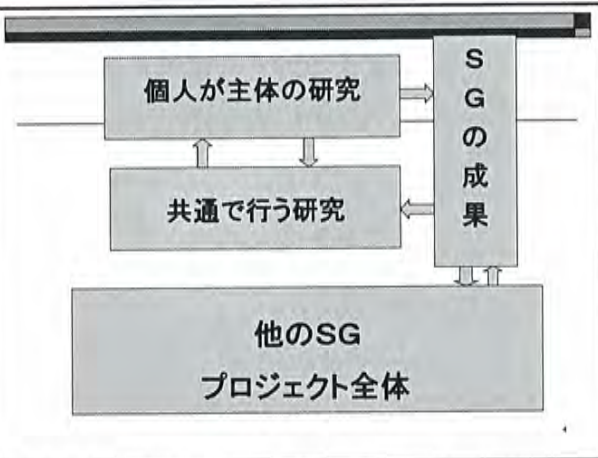
## 1. 共通で行う研究

- 「各都市の発展に関する基礎的研究」
- 「各都市の水環境の変遷に関する基礎的研究」
- 「各都市の地図・空中写真の収集」
- 「各都市の文献・統計類の収集」
- \* 可能な限り精密に、定量化を目指す
- \* 法律・宗教などへの関与（個人研究が中心となるが、SG全体、プロジェクト全体に関わるようにする。）

## 2. メンバーの個人が主体となって行う研究

- 「各都市における宗教施設の分布と、水環境との関わり」(谷口智)
- 「土地利用分布からみたアジアのメガシティにおける空間構造の比較」(山下)
- 「東南アジアにおける首位都市の空間構造」(加藤)
- 「都市の地下環境に残る人間活動の影響」(遠藤)
- 「ソウルと台北における水環境変化の比較研究」(吉越)
- 「台北の都市発展と都市気温の上昇」(白)
- 「都市化と宗教施設の分布および水文環境との関係」(香川)

(判明分のみ記載)



## 3. 現地調査

### ◎共同調査

8月実施済み	ジャカルタ
時期未定	ソウル

### ◎個別調査

一部実施済み	東京・大阪
	バンコク・台北・ソウル

## 4. 共通する要因・異なる要因

### □ 都市の発展

(共通) 核を中心に、周辺へ発展するパターン

(相違) 都市の拡大に鉄道が果たした役割

大: 東京・大阪 小: マニラ・ジャカルタ

副都市心の発達

顕著: マニラ・ジャカルタ

地下鉄の発達

東京・大阪・ソウル・台北

地下鉄の発達時期

早い: 東京・大阪

それに続く: ソウル・台北

(継続)

#### □ 水環境の変遷

(共通) 都市の発達が河川・水路の消滅を招く

(相違) 水路の利用

活発: バンコク

多少: 東京・大阪・ソウル・台北・ジャカルタ・マニラ

地下水利用

微量: 東京・大阪

普通: ソウル・台北

大量: バンコク・ジャカルタ・マニラ

地下水障害

大: マニラ・ジャカルタ・バンコク

中: 台北

小: ソウル・東京・大阪

1

(継続)

#### □ 宗教施設

(共通) どの都市にも、宗教施設の立地はみられる

(相違) 多い: バンコク

普通: 東京・大阪・台北・マニラ・ジャカルタ

水環境に関係: ジャカルタ・バンコク

水環境に無関係: 東京・大阪・ソウル・マニラ

1

#### 4. 本日の都市地理SGの発表内容

- 吉越昭久「都市地理SGの研究課題」
- 谷口智雅「生活空間における地下水利用と井戸について」
- 一ノ瀬俊明「都市気候」(仮題)
- 香川雄一「都市地理班における現在までの地図収集状況」

1

## 都市化の進展に伴う地上気象要素の変遷

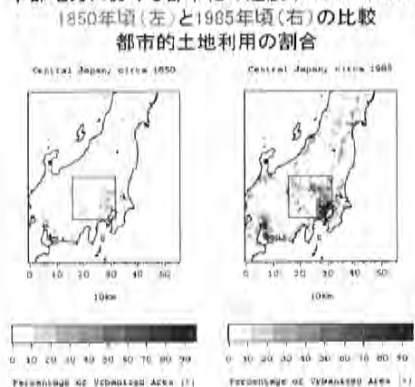
一ノ瀬 俊明 (独立行政法人国立環境研究所/名古屋大学大学院環境学研究科)

対象都市において得られる地下温度の鉛直プロファイルと対比するための、地上気象要素の経年変化に関する情報を収集するとともに、それを説明づける土地利用や人間活動強度の変遷に関する情報を収集し、相互の関連性の検討を進めてきた。気象データのみならず、土地利用や人間活動強度の変遷についても、それらの相互関係を実証することを念頭に、直接のデータ入手が可能な過去 150 年前までを対象に比較を進めるべく、対象都市におけるメソスケール気象モデルを用いた複数時点の地下温度プロファイルと地上気温分布の数値シミュレーションに、社会経済班、都市地理班からのデータ入力が可能となったため、今般着手したところである。

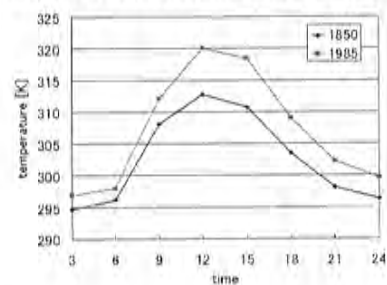
一ノ瀬らが改良したメソスケール気象モデル CSU-MM (Ichinose, 2003) を用い、東京と大阪について、過去 2 時点 (1850 年頃と 1985 年頃) における周辺地域の土地被覆 (図 1) を与え、典型的夏日の気温および地表面温度を計算した。10km グリッドで計算した場合、日中の気温差は 2°C 程度、地表面温度の差は 8°C 程度に達している (図 2)。地下温度との比較のために、地上気温と地表面温度との関係についても検討が必要である。

アジアの対象 7 都市の最低 2 時点についても同様の作業を行い、結果を並べる予定であるが、入力データ (を作成するためのデータ) の到着を待っているところである。

中部地方における都市化の進展 (Ichinose, 2003)



典型的夏日における  
東京・大手町の地表面温度日変化 (計算値)



(左) 図 1 東京周辺の都市化の進展 (1850 年頃と 1985 年頃の比較)

(右) 図 2 典型的夏日における東京・大手町の地表面温度上昇 (数値シミュレーション)

文献

Ichinose (2003) : *Journal of Global Environment Engineering*, 9, 19-39

## 都市化の進展に伴う地上気象要素の変遷

一ノ瀬 俊明

(独立行政法人国立環境研究所/名古屋大学大学院環境学研究所)

1

## 都市化の進展に伴う地上気象要素の変遷

対象都市において得られる地下温度の鉛直プロフィールと対比するための、地上気象要素の経年変化に関する情報を収集するとともに、それを説明づける土地利用や人間活動強度の変遷に関する情報を収集し、相互の関連性の検討を進めてきた。

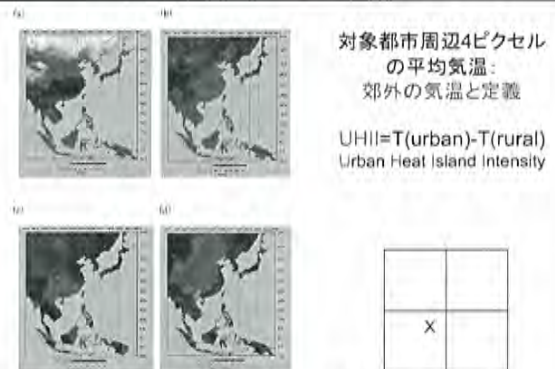
対象複数都市の100年以上にわたる気温上昇データをコンパイルして提示するとともに、バンコク、ソウルにおいて気象官署への訪問調査を行い、気象台の移転に伴うデータの人為的不連続性に関する見積もりを示した。

2

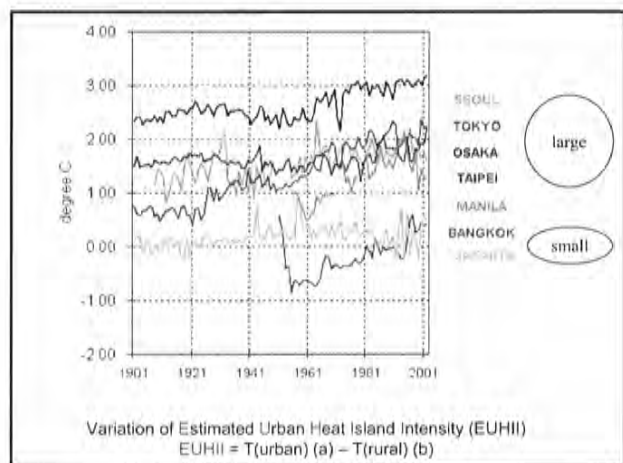
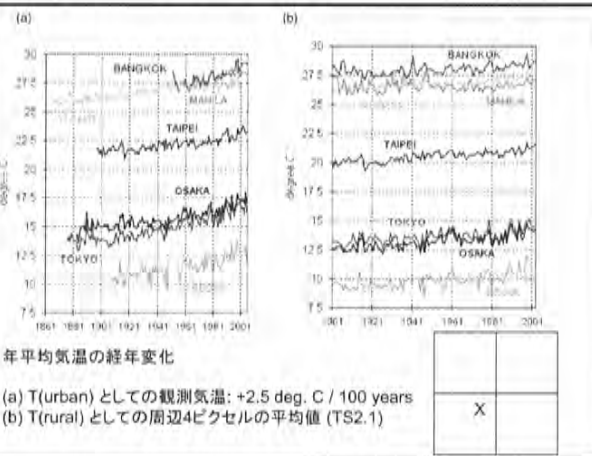
日本全国のアメダスデータを観測開始以降で年次別・月別に集計して、30°C以上の高温に暴露される時間数をマップ化し、経年的な温暖化としては都市化の影響よりも、猛暑年の気圧配置、フェーンの影響のほうが顕著であり、ヒートアイランド対策のあり方を見直す必要の可能性を提示した。(Ichinose and Kataoka, 2006: IGC)

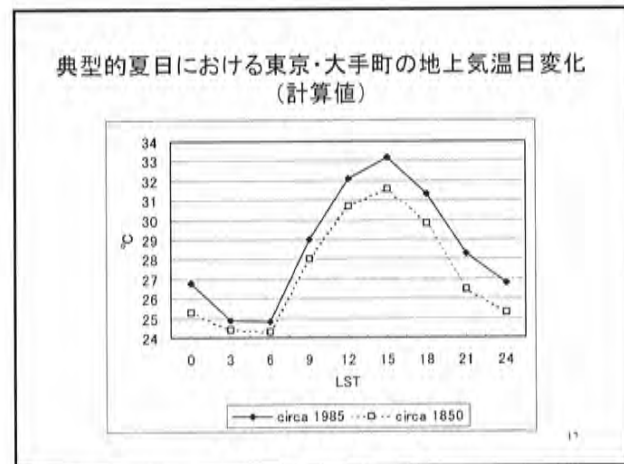
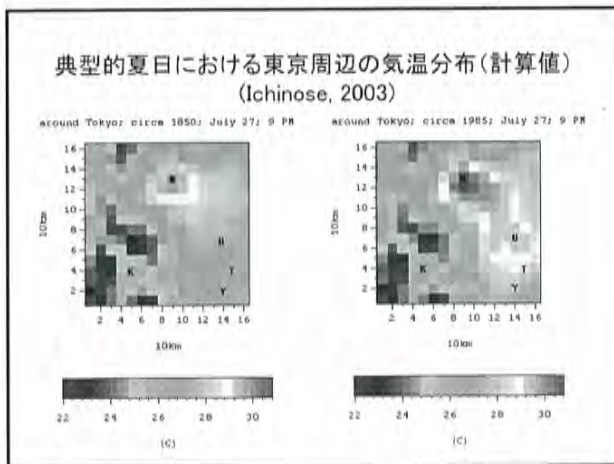
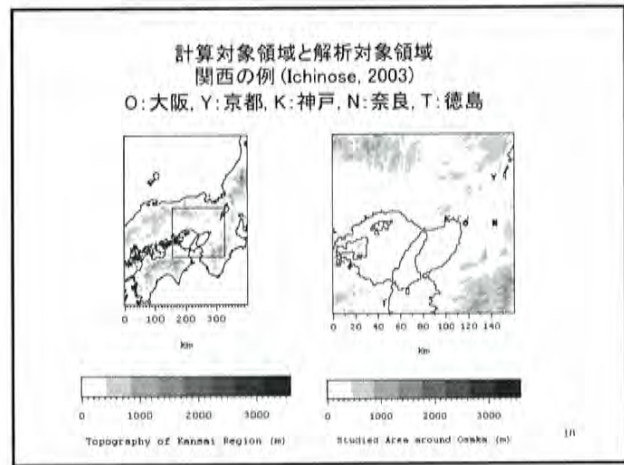
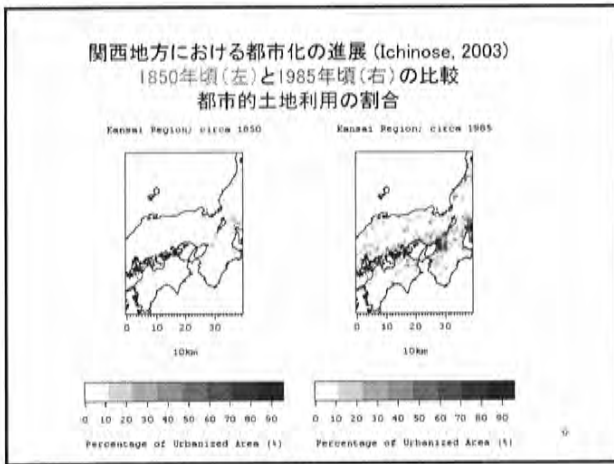
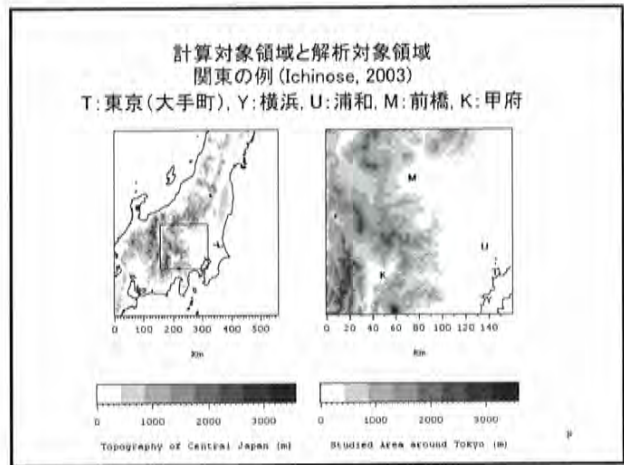
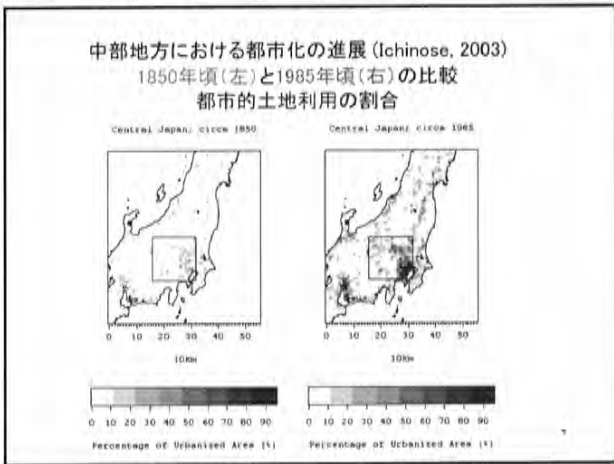
気象データのみならず、土地利用や人間活動強度の変遷についても、それらの相互関係を実証することを念頭に、直接のデータ入手が可能な過去150年前までを対象に比較を進めるべく、対象都市におけるメソスケール気象モデルを用いた複数時点の地下温度プロフィールと地上気温分布の数値シミュレーションを開始した。(Ichinose (2003): JGEEの延長)

3



CRU TS2.1: 0.5 deg. temperature data (Mitchell *et al.*, 2005)  
月平均気温 (a) JAN (b) JUL  
月平均気温の上昇トレンド(1901年~2002年) (c) JAN (d) JUL



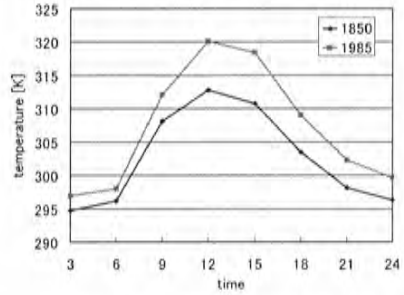


135年間における典型的夏日の気温上昇  
 (°C: 数値計算)  
 Ichinose (2003)

	dTmax	at	dTmin	at	Tmax1985
Tokyo	1.8	9PM	0.5	6AM	33.2
Osaka	2.2	9PM	0.4	6AM	33.0
Sapporo	0.5	0AM	0.2	9AM	24.0
Fukuoka	0.8	9PM	0.1	6AM	31.4
Sendai	0.9	9PM	0.0	6AM	27.4

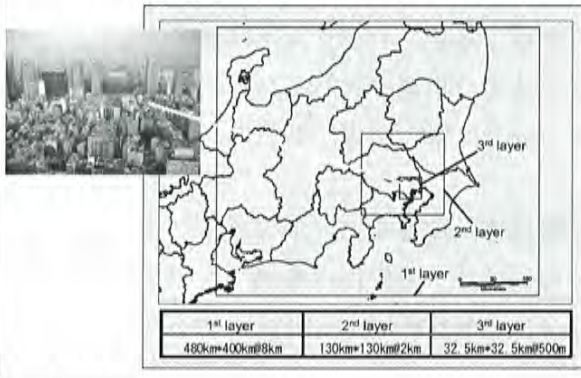
13

典型的夏日における  
 東京・大手町の地表面温度日変化(計算値)



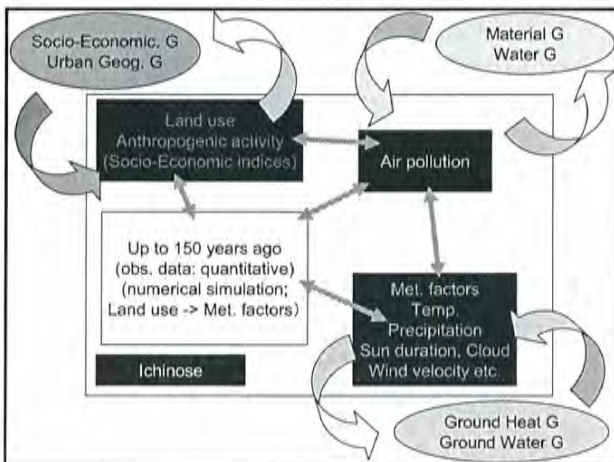
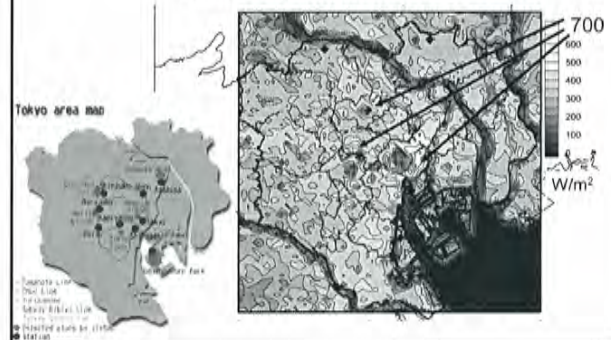
14

Numerical simulation by Ashie *et al.* (around Tokyo)



Numerical simulation by Ashie *et al.*

Sensible heat flux (14:00 in late July)  
 around Tokyo (30 km x 30 km)



今年度は主に日本（大阪）およびタイ（バンコク）の地盤沈下対策の比較研究を行った。既に個々の事例については詳細な研究があるが、これに対して本研究は理論的考察を加味しつつ、両者を比較研究の俎上に乗せることを試みた。

理論的に見た場合、地盤沈下は「社会的ジレンマ」の典型的な事例と考えられる。地下水は地表水に比べて安価・良質といった理由から社会の重要な水の供給源となることが多い。各人にしてみればそうした地下水を利用することは合理的な選択かもしれないが、社会全体からすると地盤沈下やそれに伴う洪水リスクの増大といった不合理な帰結がもたらされる恐れがある。裏を返せば、地盤沈下に見舞われている地域の住民にとって、その解決は共通の利益のはずだが、各人が自発的に取水制限を行なって地盤沈下を食い止めるとは限らない。というのも、自分は汲み上げを止めなくとも、周りの他人が汲み上げを止めてくれさえすれば問題は解決するし、あるいは自分ひとり汲み上げを止めた所で地盤沈下の防止には微々たる影響しか与えられないと考えるためである。つまり人々は地盤沈下の防止という共通の利益をもっていたとしても、それが共通の利益であるがために、かえって他人任せとなる可能性がある。こうした総論賛成・各論反対の状況が社会的ジレンマと言われるものである。

地盤沈下対策とは、この社会的ジレンマに対する解決策と捉えることができる。こうした視点からすると、大阪の地盤沈下対策とバンコクの地盤沈下対策には共通項と相違点の双方が存在することが分かる。例えば、双方のケースで地盤沈下対策に対する政府介入が見られ、規制区域の設置、規制区域における新規井戸設置の禁止といった施策が観察できる。他方、バンコクのケースでは地下水料金制度の導入といった手法がとられたが、大阪ではそうした動きはなかった。逆に、大阪のケースでは上水道の設置という地下水から地表水の転換政策が遂行されたが、バンコクではこの動きが未だ計画段階にあるといった具合である。こうした違いと同時に、大阪の地盤沈下対策が功を奏した一方で、バンコクのそれが未だ不十分な効果しかもたしていない点を併せて考えると、地盤沈下対策にあたっては地下水から地表水への転換が大きな意味をもつことが推察される。

以上の研究内容は、KRIHS and RIHN Joint International Symposium on Urban Sustainability in Asia: Urban Planning, Environment and Transportation (KRIHS, Seoul, Korea, June 12, 2008)にて報告されたほか、IAH Toyama 2008 Integrating Groundwater Science and Human Well-being (Toyama, Japan, October 26-November 1, 2008) にてポスター発表される予定である。



## 今年度の研究内容・成果

都市地理グループ（香川雄一・滋賀県立大学）

### ・海外調査

2008年3月16日～19日：マニラ

マニラ都心部およびマニラ大都市圏の郊外を見学した。湾岸部およびパッシング川沿岸では居住と水とのかかわりを確認した。パヤタス地区では大都市の廃棄物の処理問題の現状を理解した。NAMRIAにてマニラ大都市圏の1/50,000地形図を購入した。

2008年8月18日～23日：ジャカルタ

ジャカルタの都市開発地区と工場団地および住宅開発としてのニュータウンを見学した。港湾部においては地盤沈下と排水処理の問題について、都市内河川においては舟運の可能性についても見学できた。BAKOSURTANALにてジャカルタ市内の1/25,000を購入した。

2008年11月1日～3日：ソウル

2007年3月のグループ内調査で地図の収集と現地見学を行っているため、都市地理班としての作業課題を検討するために、ソウルの都心周辺部と水環境とのかかわりを見学する予定である。あわせて文献資料の収集も考えている。

### ・資料収集

#### 外邦図

京都大学総合博物館にてソウル、台北、マニラ、ジャカルタの1/50,000をスキャンした。京都大学東南アジア研究センターから上記以外の外邦図を借り出しスキャンした。

#### 戦後のアジア大都市の地図

京都大学東南アジア研究センターからバンコクの1960年代の1/50,000地形図を収集した。アジア経済研究所図書館所蔵のソウル、バンコク、ジャカルタの地形図を選定した。

#### 東京・大阪の事業所統計

昭和38年以降平成18年に至るまでの産業中分類による東京と大阪の区別データを収集し、エクセルに入力した。社会経済班および物質班との共同作業を予定している。

### ・研究内容

対象都市の都市化と宗教施設の分布および水文環境との関係についての分析作業を継続している。バンコクおよび東京・大阪はデジタル地図によって宗教施設と水路網の表示が可能である。ソウル、台北、マニラ、ジャカルタについては紙地図からの分布図作成に取り組んでいる。仏教、キリスト教、イスラム教といった各種宗教と都市化の関係を示したい。

### ・成果発表

日本地理学会2008年春季学術大会にて「バンコクにおける都市化と水路網について」発表  
Hydro Change2008にて「Urbanization in Asian Metropolis and the Changes of hydrological environment in and around Bangkok」を発表

IGS-TH2009にて「The Distribution of Temples along the canal and the Changes of hydrological environment in Bangkok」を発表予定

## 都市地理班のデータ状況 (紙地図の収集と利用)

香川雄一(都市地理グループ)

1

## 都市地理班による地図収集

- 2006年8月:バンコク
- 2007年3月:ソウル
- 2007年9月:台北
- 2008年3月:マニラ
- 2008年8月:ジャカルタ
- 2006年~:東京、大阪、(国内での外国都市)

2

## 地図収集の方針

- 地形図→対象都市範囲の1/50,000を中心に  
⇒GISの土地利用変遷図に利用
- 一般図→都市地理の情報源として(各自)
- 主題図→都市計画図、地質図(都市地理の調査)
- 古地図→GISの土地利用変遷図および調査用

3

## 地図収集先(外国諸都市) ・・・政府の地図発行部局

- バンコク→Royal Thai Survey Department (RTSD) タイ王立測量局
- ソウル→National Geographic Information Institute 国土地理情報院
- 台北→Department of Land Administration 内政部地政司  
⇒台北售圖站(販売所):土地測量局第一測量隊隊部
- マニラ→National Mapping and Resource Information Authority (NAMRIA)=国立地図・資源情報局
- ジャカルタ→Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (BAKOSURTANAL)  
National Coordinating Agency for Surveys and Mapping  
=国立測量・地図作成調整局

## 地図収集先(日本)

### ・・・国土地理院および研究機関

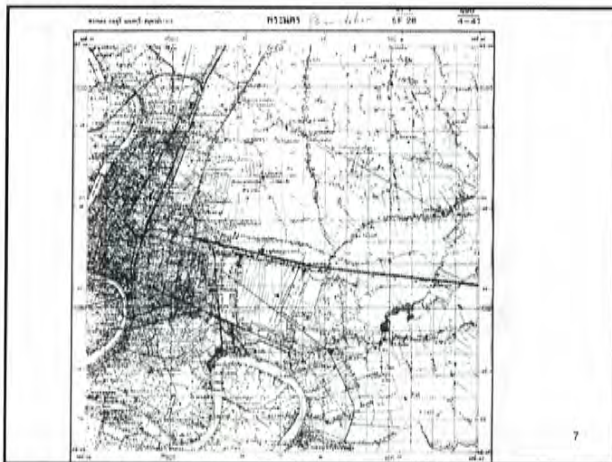
- 国土地理院→1/50,000旧版地形図(戦前、戦後)
- 京都大学総合博物館→外邦図
- 京都大学東南アジア研究センター→外邦図  
戦後1/50,000地形図
- アジア経済研究所図書館→外邦図  
戦後1/50,000地形図

5

## 地図リスト(バンコク) ※青字はGIS作業用(以下同)

都市名	所蔵者	種類	地図
バンコク	立命館大学	地形図	地図(1/50,000)バンコク近郊からチャイナプラヤ川河口地域(既に都市部で購入済みの図集を除く、4冊を輸入)
バンコク	立命館大学	地形図	地図(1/25,000)バンコク市街地(2001年)の5%、旧市街地(1冊を輸入)
バンコク	地球研	地形図	地図(1/50,000)バンコク近郊からチャイナプラヤ川河口地域(1950年代、1980年代) →
バンコク	立命館大学	地質図	GEOLOGICAL MAP OF THAILAND WESTERN SHEET(1:80,000)
バンコク	立命館大学	地質図	GEOLOGICAL MAP OF THAILAND CENTRAL AND EASTERN SHEET(1:80,000)
バンコク	立命館大学	都市計画図	バンコク都市計画図(2001)、タイ語(内閣は議院の方針による日本語訳あり)
バンコク	立命館大学	土地利用図	バンコク土地利用図(2001)、タイ語(内閣は議院の方針による日本語訳あり)
バンコク	香川	一般図	ESRI(Thailand) "BANGKOK MAP V.2.0"
バンコク	香川	一般図	Perseus Edition "THAI AND Regional Map Series Fourth Edition"
バンコク	立命館大学	地図集	BANGKOK TOURIST MAPS(1:25,000)
バンコク	香川	地図集	ESRI(2004) "Bangkok City Atlas & Regional Travel Guide" (内閣は議院の方針によるデジタル地図集(地球研、香川))

6



## 地図リスト(ソウル)

都市名	所蔵者	種別	地図
ソウル	立命館大学	地形図	地図(「韓国」本籍「安東」本籍「ソウル」(2001)(1:50,000)
ソウル	地研研	地形図	地図(1:50,000(1960年代)
ソウル	立命館大学	地形図	地形図(1:50,000(1910年代)
ソウル	立命館大学	主題図	地図(ソウル特別市公團建設図(2001)(1:50,000)
ソウル	谷口	都市計画図	地図(1:25,000ソウル特別市都市計画総地図(ハンダング語、漢字含む)
ソウル	谷口	一般図	地図(1:25,000ソウル特別市行政区域図(ハンダング語、漢字含む)
ソウル	谷口	一般図	地図(1:5,000一般都市地図(成地文化社)
ソウル	谷口	一般図	地図(1:5,000Blue Map(一般都市地図・空中写真併記の地図)
ソウル	山下	一般図	City Map Seoul 1:50000
ソウル	山下	一般図	City Map Central Seoul 1:25000
ソウル	谷口	古地図	古地図 都城大地図(The Great Map of Seoul, Joseon Dynasty)(ハンダング語)
ソウル	立命館大学	地図集	The Map of Seoul(2008) Seoul Museum of History



## 地図リスト(台北)

都市名	所蔵者	種別	地図
台北	立命館大学	地形図	台湾地図五万分之一地形図(台北市、宜蘭、淡水、桃園)
台北	立命館大学	地形図	台湾地図二万五千分之一地形図(石碇、木柵、樹林、八堵、台北市、苗栗、基隆市、陽明山、淡水)
台北	立命館大学	地形図	地形図(1:50,000(1930年代)
台北	立命館大学	都市計画図	台北市都市計画委員会編「台北市都市計画参考図集」
台北	立命館大学	一般図	台北市行政区域図(1:30,000)
台北	立命館大学	一般図	台北市行政区域図(萬里、深坑、士林、北投、大安、中山、大同、中正、松山、西門、南港、文山)
台北	立命館大学	一般図	TAIWAN MAP KING "TAIPEI CITY" SHAN JU PUBLISHING CO LTD
台北	立命館大学	一般図	台北市制編(2000分の1)の都市地図、資料に台北市定域が入っていない
台北	立命館大学	地図集	地図台(漢1000) 南天書局
台北	立命館大学	地図集	自治資料 台湾都市發展地図集 南天書局
台北	立命館大学	地図集	大興出版社(4) 南天書局「台北都市發展地図集」



## 地図リスト(マニラ)

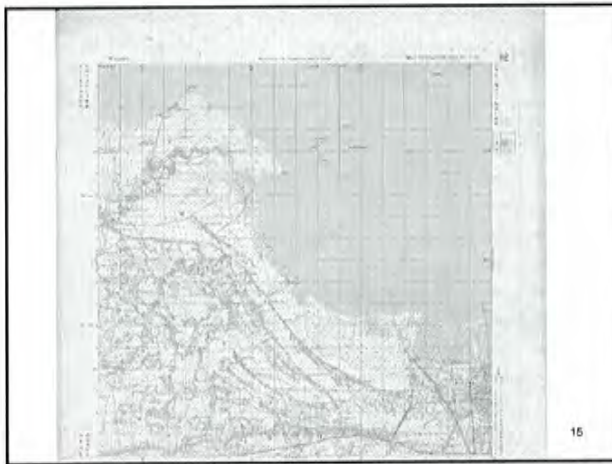
都市名	所蔵者	種別	地図
マニラ	立命館大学	地形図	10,000分の1地形図(「ALABANG」「BACLARAN」「BAGUMBAYAN」「CAMITA」「CONGRESSIONAL」「DILMAN」「HASENDA LEMEGOS」「KAMUNING」「LA MESA DAM」「LAS PINAS CITY」「MALIBAY」「MANDALUYONG」「MANILA (NORTH)」「MANILA (SOUTH)」「MARIKINA」「MEYCAJAYAN」「MONTALBAN」「MUNTINLUPA CITY」「NAVOTAS」「NOVALICHES」「ORANGI」「PASIG CITY」「PINDA」「SAN MATEO」「SAN NICOLAS」「SAN PEDRO」「SES VILAGE」「TAGUIG CITY」「TANDANG SORA」「TUNGKONG MANGGA」「VALENZUELA」)
マニラ	立命館大学	地形図	地図(1:50,000(1960年代)
マニラ	立命館大学	地形図	地形図(1:50,000(1940年代)
マニラ	香川	一般図	EZ Map Metro Manila Street Guide
マニラ	香川	一般図	EZ Map Metro Manila
マニラ	香川	一般図	EZ Map Manila / Origas
マニラ	香川	一般図	EZ Map Quezon City
マニラ	山下	一般図	Metro Manila Route Map 1:30000
マニラ	香川	地図集	Metro Manila City Atlas
マニラ	香川	地図集	Atlas of the Philippines and the world for home and office



### 地図リスト(ジャカルタ)

都市名	所蔵者	種類	地図
ジャカルタ	山下	地形図	25,000分の1地形図「Tanjungpura」「Ancol」「Puloasri」「Jakarta」「Tekhnaga」「Tangerang」「Pembagew」「Pasironggaj」「Serpong」
ジャカルタ	立命館大学	地形図	外務省(1/50,000)1940年代
ジャカルタ	(地研研)	一般図	2007-2008 Megaonline Map & Street Guide
ジャカルタ	香川	一般図	Persaku Travel Map Indonesia City Map Jakarta
ジャカルタ	香川	一般図	Jakarta Street Atlas
ジャカルタ	香川	一般図	Indika Peta Street names indika Peta DKI Jakarta
ジャカルタ	香川	一般図	Peta JABODETABEK
ジャカルタ	香川	地図集	ATLAS DKI Jakarta

14



### 地図リスト(東京)

都市名	所蔵者	種類	地図
東京	立命館大学	地形図	地形図(2020)昭和45年度、昭和48年度
東京	立命館大学	地図集	大正・昭和 東京周辺1万5千1地形図集 地蔵房
東京	立命館大学	地図集	明治・大正・昭和 東京1万5千1地形図集 地蔵房
東京	立命館大学	地形図	戦災復興期 東京1万5千1地形図集 地蔵房
東京	立命館大学	空中写真	カラー空中写真(1/20,000)1997
東京	立命館大学	空中写真	油黒空中写真 1947

15

### 地図リスト(大阪)

都市名	所蔵者	種類	地図
大阪	立命館大学	地形図	地形図(2020)昭和45年度、昭和48年度
大阪	立命館大学	地図集	明治前期・昭和初期 大阪都市地図 地蔵房
大阪	立命館大学	空中写真	カラー空中写真(1/10,000)1985
大阪	立命館大学	空中写真	カラー空中写真(1/40,000)1999
大阪	立命館大学	空中写真	モノクロ衛星空中写真 1947
大阪	立命館大学	空中写真	空中写真衛星データ 1999

16

### 地図収集の課題

- ・ ジャカルタ(戦後:1960年代)→収集可能(アジ研)
- ・ バンコク(戦前:1930年代)→JICAにより調査中
- ・ 台北(戦後:1960年代)→カウンターパートとの調整
- ・ 数都市→未確認図幅の存在・・・代替?断念?
- ・ 「GISのための土地利用変遷図」以外の利用

### 主題図の利用

- ・ アトラスの作成
- ・ 各グループとの連携主題図
- ・ GIS/データベースWGとの共同作業
- ・ 都市地理班独自テーマの深化

17

1. 過剰都市化現象

東南アジアの首位都市 *primate-city*（その多くは首都である）には、各都市の後背地のみならず、国内の農村部、そして国外からも多くの人口が流入し、そのほとんどが過剰都市化と呼ばれる現象を経験してきた。一般に過剰都市化（*over-urbanization*）とは、都市労働市場における需要をはるかに上回る労働力が流入してくる状態を指す。当然、都心とその周辺部は、正規の雇用にありつけない余剰労働力であふれかえることになるのだが、逆に多種多様なサービス業を中心とするインフォーマルセクターが形成され、流入人口の受け皿となる。

過剰都市化という場合、労働市場の形成とならんで重要なのは、まさに *urbanization* という言葉が含み持つ、都市の空間形成という過程的・構造的側面である。農村部からの流入人口は、労働市場で周辺化されるのみならず、住宅市場においても同様の事態に陥る。官民双方の住宅供給はまったく追いつかないため、流入人口はより安価な住宅、最低でも雨露をしのぐことのできる場を求めて、都市空間の隙間を巧みに見つけては埋め尽くしてゆく。こうした都市では、通常、土地空間上の管理が行き届きにくかったり、河川の堤防や鉄道沿線といった空間を許可なく占有するパターンが続発することになる。一般にこうした居住様式はスクワットイングと呼ばれ、その密度・規模が増すとスラムを形成することになる。

スラムの居住環境が劣悪であることは言うまでもない。未整備の上下水道、ゴミの増加や悪臭、衛生問題、場合によっては犯罪の発生など、問題は深刻である。近年、バンコクなどでは大規模なスラムクリアランスが実施され、代替居住施設の供給も行なわれてきたが、それとて十分なものではなく、また移転先でのコミュニティ維持や就業先の確保をめぐる新たな問題も惹起している。

さらに、近年はグローバリズムの席捲によって、都市空間の再編が急速に進みつつある。既存の都心部で大規模な再開発、可視・不可視の空間管理が進められる一方、郊外には新都心ないし副都心としての機能を充填すべく、大規模な建造環境が生産されるにいたった。それと連動して、新たな住宅開発、メガモールの進出・建設も進み、都市的な生産・消費の両面において、格差を如実にあらわす風景が首都の風景を塗り替えようとしている。

2. 都市内部の空間構造

東南アジアのメガ都市の多くは植民地としての都市化を経験し、その都市構造に上塗りするかたちで現在の都市建設が進められたことは注目に値するが、その点については別に考えることとし、ここでは古典的な都市内部の空間構造に関する古典的なモデルから、現在のメガシティの空間形態を展望してみたい。下の図は、シカゴ学派のバージェスモデルを参照しつつ、アジア研究者のテリーマギィが自らのジャカルタ、シンガポール、バンコク、マニラなどに関する経験的研究に基づいて構築した都市構造モデルである。

この図によれば、港湾機能を有する地区を都市格としつつ、そこから同心円状に複合的な土地利用の卓抜する第二地帯、比較的ゆとりのある住宅地帯（第三地帯）、そして郊外スラム（*slurb*）とでも呼ぶべき第四地帯、さらには農村的な土地利用の第五地帯へとつづく。この図で特徴的なのは、都心を起点として放射状に商業地区や、行政地区—高級住宅地区が形成されていることだろう。



日本都市（大阪・東京）と大きく異なるのは、工業地帯がない（つまり工業化に依存しない、あるいはあまり影響を受けない都市化過程のため、都心を取りまく地帯が、住宅供給に適しているという点である。逆に言えば、（マニラのように）郊外に大規模スラムが形成される。

現在の都市は、こうした彼のモデルに描かれる範例的な土地利用を下地にしつつ、確実に書き換えられつつある。昨年度、都市地理班で行なったマニラ調査の経験にもとづいて言えば、第二地帯への資本投下によって新都心の機能や業務地区が拠点化されている一方、エルミタ地区においてもスクワットイングないし小規模スラムが散見されるなど、貧困現象の現前はあいかわらずであった。経験的な調査にもとづき、モデルも書き換えていく必要があると思われる。

1. はじめに

ヒートアイランド現象は周囲に比べて都市中心部の温度を上昇させる現象であり、地上では熱中症を代表とした多大な健康被害を住民に与えることが知られているが<sup>1)</sup>、一方地下では地表面温度が伝搬されることにより過去の温度プロファイルとして記録されることが明らかになっている<sup>2), 3)</sup>。本研究では、大阪府を研究対象地域とし地下水観測井から得られた地下温度プロファイルと過去の地図情報から抽出した都市域の関係について評価を行う。

2. 対象地域における都市域の変遷

対象地域の都市化の変遷を知るために1/50,000地形図から得られた土地利用図を使用し、市街地と分類された地域を都市と定義する。また、変遷を知るために使用した時代として1930年代、1970年代、2000年代とした。

3. 地下温度と深度の関係

観測井の直径は10-40cm(多くは約20cm)である。このような小口径の井戸では孔内対流が発生しにくいいため、孔内水温と周囲地下温度は平衡と仮定することが可能となる<sup>3)</sup>。本研究では、2003年に測定された地下水温度鉛直プロファイル<sup>3)</sup>を大阪平野の地下温度として解析した。その結果、温度プロファイルは温暖化およびヒートアイランドの影響を受けて表層を中心に温度上昇が見られた。

4. 都市域の変遷と地下温度の関係

図2に孔内温度プロファイルから推定した地下温度分布について深度5m, 10m, 20m, 40m, 60m, 80m, 100m, 115mについて示す。これによると、40m-80mでは他の地域と比較して大阪市周辺、すなわち1930年代に都市として形成されていた地域の温度が相対的に高くなり、100m-115mではより顕著になる様子が見取れる。以上より、都市化の進展と深度ごとの地下温度には関係があることが示唆された。

参考文献

- 1) 中井 誠一(1993): 熱中症死亡者数と気象条件、日本生気象学会誌、30(4)、169~177.
- 2) 佐倉 保夫(2000): 気候変化に伴う地下の熱環境変化、陸水学雑誌、61、35~49.
- 3) M. Taniguchi and T. Uemura (2005): Effect of urbanization and groundwater flow on the subsurface temperature in Osaka, Japan. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 152. 305~313.

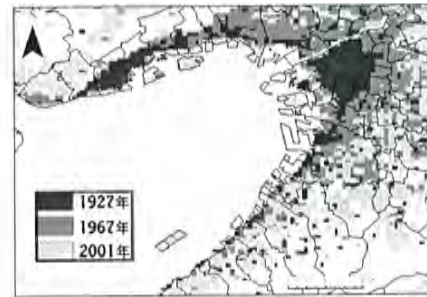


図1. 研究対象地域周辺における市街地の変遷

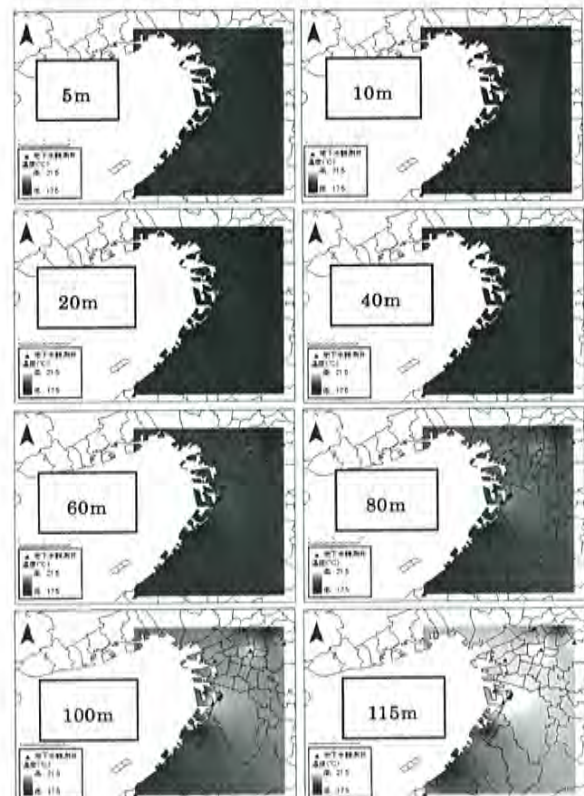


図2. 深度ごとの地下温度分布図

## 生活空間における地下水利用と井戸について

谷口智雅（立正大学地球環境科学部）

経済発展や人口増加によって水需要を増加させてきたアジアの沿岸都市では、水資源を確保するためその水源を各所に求めてきた。生活用水に限らず都市の安定した水資源を確保するため、大量の地下水が汲み上げられ、都市上流あるいは流域外においてダム開発が行われてきた。このように、「近くにある水」から「遠くから来る水」へと生活用水の水源を変化させてきたため、都市の発展段階によって異なる水利用形態を見ることができる。このため、身近な水である浅井戸の各都市での役割の違いについて、調査・考察を行った。

東京では、20世紀初頭には井戸は約45,000とも言われ、多くの井戸が生活用水の水源として住宅地に存在している。19世紀末の地形図から見た井戸分布を見ても、自然的な条件より、住宅密集地・屋敷の敷地内に分布する特徴がある。また、史資料および現在でも名井と呼ばれる井戸を見つけことができ、井戸を単なる水を得るためのものだけでなく、名跡として取り扱われている。水道の発達と住宅事情等から各家庭や住宅地域に存在する井戸は少なくなったが、現在でも寺社を中心に多くの開放井戸や打ち抜きの手動ポンプ井戸が残っている。さらに、緊急用の防災井戸が維持・整備されている。

ソウルでは、20世紀初頭の地形図から見ると王宮や屋敷などの敷地内や東京同様に生活空間に共同井戸があるのがわかる。また、1960年代に写された写真には清溪川沿いの集落では手動ポンプの共同井戸の水を利用する様子があり、井戸が生活用水の水源として利用されていた。しかし、現在は地図や写真に示されていた井戸は一部遺跡としのみ残っているのみで、あまり残っていない。

マニラにおいては、東京同様に生活空間内の敷地内に共同井戸が存在しており、身近な水として利用されている。また公共空間（道路脇）に手動ポンプの井戸があり、雑用水としての井戸利用ができる。このような井戸はかつて東京でも多く見ることができたが、現在はその名残として見られる程度で井戸の水利用としての役割を十分果たしていない。

ジャカルタでは、住宅地内に電動ポンプの井戸が設置されるなど、生活用水として積極的な利用が見られる。井戸を設置している住居の中にはかつて利用していた手動ポンプを残し、新たに電動ポンプ井戸を設置している所も見られる。また、集落の中心部に深い所の地下水を汲み上げて生活用水として給水する施設がある地域もあり、地下水が身近な水としてその役割を果たしている。

バンコクでは富裕層の住宅内に個人用の井戸があり、その水を利用しているとの聞き取り結果があるが、浅井戸の利用状況の把握は実施できておらず、今後把握する予定である。なお、バンコクではマニラやジャカルタでは見られないような低層階住宅密集地の街中に水の自動販売機があり、東京にあるような身近な水として「近くにある水」である井戸でなくから「遠くから来る水」購買水が存在している。

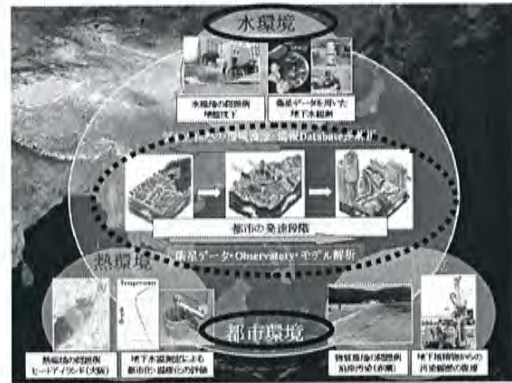
台北では浄水場内の一般公開施設に昔の水利用の手段としての手動ポンプ井戸の展示がされているのを見たが、市中の井戸の分布および利用状況については把握の段階には至っていない。

# 生活空間における 地下水利用と井戸について

谷口智雅  
(立正大学地球環境科学部・非)  
都市地理G

1

## 本研究の位置づけ



2

### How to solve ?

#### 人間活動の影響



史料・地図・現地調査などにより過去と現在の都市と水環境を把握し、各年代における自然環境と人間環境との関係を明らかにする。  
都市の発展過段階と水利用の差異

経済発展や人口増加によって水需要を増加

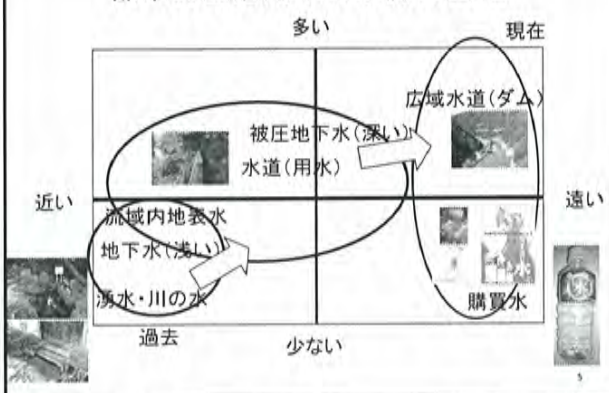
↓  
水資源を確保のためその水源を変化  
大量の地下水が汲み上げ・流域外のダム開発

↓  
「近くにある水」から「遠くから来る水」へと変化  
対象都市がどのような地下水利用をしているか

地域によって異なるか

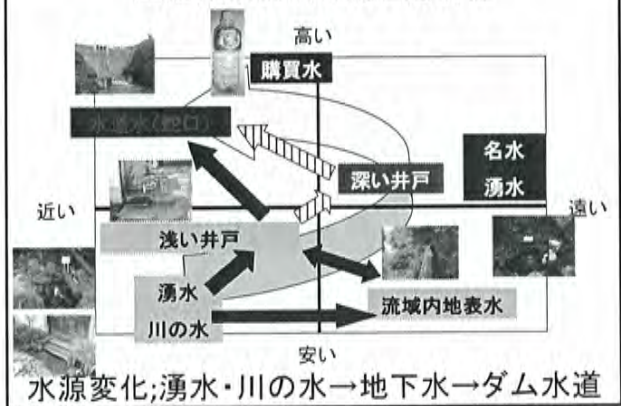


### 都市の生活用水の水源の変化



5

### 生活用水の利便性と経済性



水源変化;湧水・川の水→地下水→ダム水道



## 調査および把握の経過

- 東京・・・地形図・資料による19世紀初頭の井戸分布、現地観察による現在の井戸分布と利用状況
- ソウル・・・地形図による1920年頃の井戸分布と現地観察によるそれら井戸の現況把握
- ジャカルタ・マニラ・・・現地観察による井戸の現況把握
- バンコク・台北・・・一部聞き取りのみ
- 大阪・・・未調査



7

## 東京

- 20世紀初頭には井戸は約45,000とも言われ、多くの井戸が生活用水の水源として住宅地に存在。19世紀末の地形図から見た井戸分布を見ても、住宅密集地・屋敷内に分布。
- 史資料および現在でも名井と呼ばれる井戸があり、水を得るためだけでなく、名跡として取り扱われている
- 現在は、水道の発達と住宅事情等から各家庭や住宅地域に存在する井戸は少なくなったが、寺社を中心に多くの開放井戸や打ち抜きの手動ポンプ井戸が残っている。
- 緊急用の防災井戸が維持・整備されている。



8

## ソウル

- 20世紀初頭の地形図から見ると王宮や屋敷などの敷地内や東京同様に生活空間に共同井戸が存在。
- 1960年代に写された写真より、清溪川沿いの集落では手動ポンプの共同井戸の水を利用する様子があり、井戸が生活用水の水源として利用。
- 現在は地図や写真に示されていた井戸は一部遺跡としのみ残っているのみで、あまり残っていない。



1970年代の清溪川周辺の井戸利用



梨花女子高等学校敷地内



朝鮮総督府関係者住居跡近く

## マニラ

- 東京同様に生活空間内の敷地内に共同井戸が存在
- 公共空間(道路脇)に手動ポンプの井戸が存在。雑用水としての井戸利用ができる。
- 教会内・史跡内に井戸が記念井戸として残存



サンチャゴ要塞内井戸



カーサマニラ博物館内井戸



## ジャカルタ

- 住宅地内に電動ポンプの井戸が設置され、生活用水として積極的な利用。
- 集落内に地下水を汲み上げて生活用水として給水する施設がある地域もあり。



11

## バンコク

- 富裕層の住宅内に個人用の井戸があり、その水を利用しているとの聞き取り結果があり。
- バンコクではマニラやジャカルタでは見られないような低層階住宅密集地の街中に水の自動販売機あり。



12

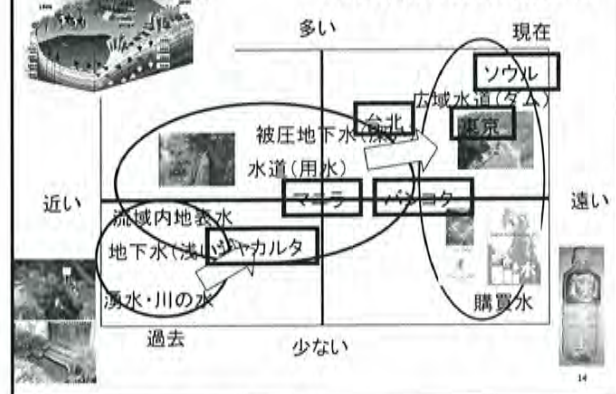
### まとめ

	1900	1920	1940	1960	1980	2000
Tokyo	生活用水	○	○	○	○	○
	雑用水				○	○
	防火・非常用				○	○
Seoul	名跡・名井	○	○	○		
	生活用水		○	○		
	防火・非常用					
Jakarta	名跡・名井	○	○	○	○	○
	生活用水					
	防火・非常用					
Manila	生活用水					○
	雑用水					○
	防火・非常用					○

- 都市の発展段階によって、生活用水→雑用水と変化
- 名跡・名井はある都市とない無都市が存在
- 東京とソウルでは井戸の存在価値に差があり。
- 東京では防災・緊急用としての役割を担っている。

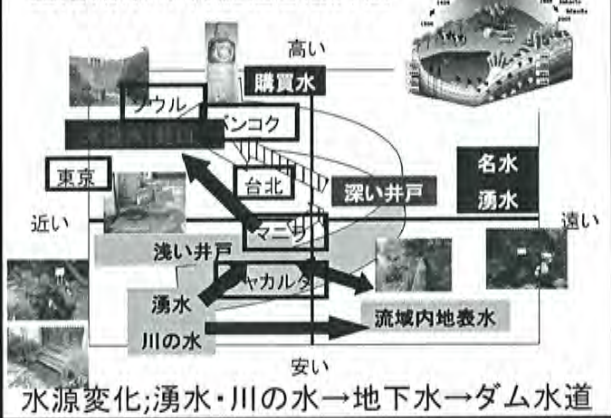
13

### 生活用水の水源変化



14

### 生活用水の利便性と経済性



水源変化;湧水・川の水→地下水→ダム水道

### 今後の課題

- 過去の井戸利用状況を把握し、さらに詳細な都市の発展速度と水源変化の違いを検討
- 水道普及率・水道料金との関わり(経済的な側面)
- 地下水量との関係
- 地下水利用の規制との関係
- 名跡・名井の存在を含む井戸(水)に対する意識
- 有効な地下水利用の提言(環境用水・防火用など)

1. 台北市の都市発展

日領時代の1932年に台北で「大台北市計画事業」が実施され、旧台北市街地が形成された。1944年台北市の人口は40万人であったが、日本人が帰国したため、1946年には27万人に激減した。しかし、1949年国民政府が台湾に撤退し、台北市人口は48万人に膨れ上がり、1963年には103万人へと増加した(図1)。その後、旧市街地の中心地域(図2の中正区、萬華区)から東に扇状的に拡大し、台北市の人口も増加の一途をたどり、1992年には269.6万人になった。

また、台北市の急速な都市化、とくに60-70年代に製造業を進めた結果、三重市、新莊市、板橋市、永和市の人口も急速に増加し、台北市の衛星都市になった(図2)。

しかし、基隆河の氾濫を治めるために、川筋を変化させる工事を行った成果、居住人口は、高人口密度の大安区、松山区、大同区から内湖区、南港区及び汐止市に移動してきた。1992年以後、旧市街地の8区では、人口減少が著しく、1993年には1.71%(4.3万人)の人口が流出した。

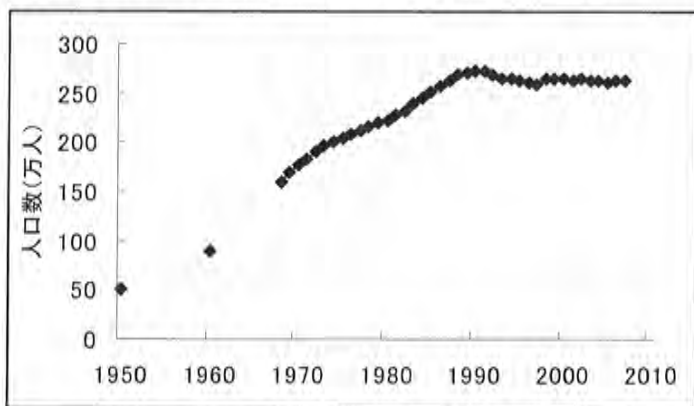


図1 台北市の人口の変化(1950-2007)



図2 台北市の行政区画(1990年~現在)

その後、人口の分散は続き、とくに、市内や近接地区を結ぶ鉄道交通ネットワーク MRT を1996年に開通させた後、MRT 駅周辺地区での商業地の形成を促した結果、都市機能が分散され、市庁移転などの都市開発を行っている。それに伴い、市中心部は旧市街地の中心の台北駅から東の信義区に移動しながら、旧市街地の居住人口の移動は MRT 線路に沿って、文山区、南港区、内湖区・汐中市、士林区、北投区へ、さらに西の衛星都市の板橋市へ続いている。

2. 台北市の都市気温の上昇

台北の年平均気温が継続的に上昇していることが確認され、都市気温は約1.5°C/110年(1897-2007年)の上昇がみられた。また、台北観測所(E121° 31' N25° 02')の気温上昇は北にある淡水観測所(E121° 26' N25° 10')の気温上昇の2.5倍であった。

1970-2007年の37年間に、台北市における1月の平均気温(最低月平均気温、平均値は13°C以上)の上昇は約1.7°C、7月の平均気温(最高月平均気温、平均値は29°C以上)の上昇は約1.4°Cであった。さらに、台北市の最低気温が10°C以下の日数は大幅に減少している(図3)。しかし、淡水鎮の

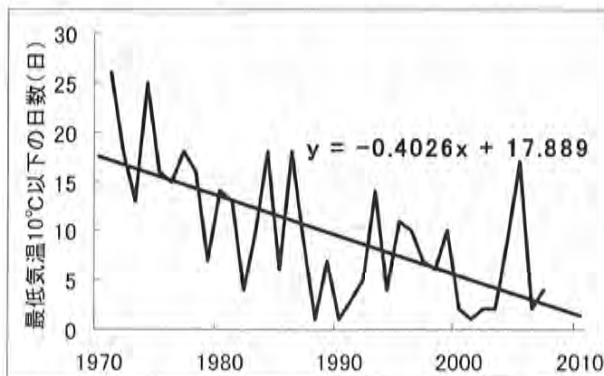


図3 台北市における最低気温が10°C以下の日数

1月の平均気温の上昇が確認されず、7月の平均気温は台北市より高いが、気温の上昇は台北市より0.2°C位低下した。また、台北市の7月の豪雨日数は約8.1日であり、淡水鎮の7月の豪雨日数は約6.5日であった。現在、台北の都市発展過程と都市高温域の分布との関係を分析している。

<研究内容>

GISWG として昨年から取り組んでいる「アジア 7 都市 3 時期の土地利用メッシュマップ作成」業務を今年度も執り進め、東京と大阪の 3 時期（1927 年，1967 年，2001 年）およびソウル，台北，マニラ，バンコクの 2000 年頃のマップが完成した。それに基づいて，土地利用分布からみた都市の空間構造の変遷・比較について分析した。

<研究の（途中）結果>

1. 東京・大阪の 3 時期

まず，東京駅と大阪駅からそれぞれ 10km ごとのバッファ（同心円）を発生させ，距離圏別に土地利用を集計してみた。東京の郊外部では 1927 年から 1967 年にかけて森林が減って農地が増えているのが特徴的である。その後 2001 年までに農地が減って郊外も都市化している。大阪では 1927 年当時から一貫して農地が減って都市化している傾向がある（森林はどの距離帯でも時期による違いが少ない）。次に河川沿いの空間として，東京圏の荒川，多摩川，大阪圏の淀川から 5km バッファを発生させ，そこに含まれるメッシュを集計した。都市化の進み方としてはどの河川沿いも同じにみえるが，荒川で農地が多く，多摩川で森林が多い傾向がある。次に鉄道沿線の空間として，東京圏の常磐線（都心から東方向），京浜東北・高崎線（北方向），中央本線（西方向），大阪圏の東海道本線（京都方面）（北東方向），東海道本線（兵庫方面）（西方向），関西本線（南東方向）から 5km バッファを発生させ，そこに含まれるメッシュを集計した。常磐線と高崎線は傾向が似ているが，中央本線は農地が全くなくなった代わりに森林は現在最も残っている。大阪圏に関しては，東海道本線（兵庫方面）で農地が無くなっており，森林も少ない。海沿いの住宅地をずっと通っているからと思われる。全体として鉄道沿線の開発は大阪の方が東京より先行しているといえる。

2. 海外 4 都市の現代

ソウル，台北，マニラ，バンコク 4 都市の土地利用分布から都市の空間構造について比較検討してみた。都市部としての宅地の拡がりを見ると，バンコクとソウルが最も広く，都心から半径 20km 以上の範囲に広がる。マニラがそれに次ぐ。台北が最も空間的に狭く，半径 10km 程度である。バンコクとソウルを比較すると，バンコクは，都心である王宮地区を核として同心円状に都市部が広がるのに対し，ソウルは漢江沿岸の都心部を核とする地域以外にも，南部や北部に分散して都市部がみられ，多核的な都市構造を有している。都市部以外に目を向けると，ソウルと台北は都市部の周囲を森林が取り囲んでいる。それに対してバンコクは都市部の周囲に広大な農地が拡がり，対象地域内に森林や草原のような自然的土地利用はほぼ皆無である。このことからバンコクでは，森林や草原といった自然環境が，人為によって広範囲にわたって改変されてきたことが伺える。

## 水グループ 2007-2008 成果報告と年度内計画・次年度計画について 嶋田 純 (熊本大学)

水グループの目標は、対象としているアジア諸都市（東京、バンコク、ジャカルタ、大阪、etc）において以下の4項目を実施することである。

- ① 都市化に伴う地下水流動の変遷を捉えるための地下水ポテンシャルデータの収集
- ② 地下水帯水層に保存されている都市化に伴う人為的な影響の時系列変化の抽出
- ③ その解析に必要なとされる若い地下水年代トレーサー（CFCs、Kr85）手法の開発
- ④ これらの諸都市からのデータを比較検討することで異なる都市発達段階の違いの認識

CFCs法については、筑波大学・熊本大学にてそれぞれ装置を立ち上げ各地でのCFCsを用いた年代測定調査を開始している。その過程で、還元的雰囲気の高い被圧地下水では微生物分解により大気中から補足されたCFCsが涵養時の濃度よりもはるかに低くなってしまい、年代測定を不可能にしていること、都市部においては人工的なCFCs源の存在により大気濃度を基本とする年代解釈が不可能になっていることなどが明らかになってきている。また、年代解析には涵養時の気温・気圧による補正が不可欠であり、この補正法に関して問題があることも判明した。バンコク、ジャカルタ、関東平野でのCFCs測定は相応の結果をもたらしており、他の年代要素との比較により当初の目標である対象帯水層の地下水流動特性把握に活用する計画である。また、繰り返しサンプリングによるトリチウム法で地下水年代が明確にされており、且つ流動状態がピストン流状態であることが分かっている岩手県の釜石鉱山坑内水を用いてCFCs年代測定を行い、我が国におけるCFCsの絶対値を検証を行った。

もう一つの年代とレーサであるKr-85法については、2008.03に熊本平野の大津(涵養域)と江津湖(流出域)において現地採水調査を行い、現場適応性を検証すると共に、地域の地下水年代評価を行った。この現地における溶存希ガス抽出システムの試運転の結果、装置の軽量・小型化の必要性を認識し、2008年度予算にて小型化を行うとともに、ガス回収用ポンベの真空度を確保するためのピラニーゲージを装着した。全体重量は105Kgと軽量化には至らなかったが、装置全体をコンパクトすることには成功し、それらを航空機輸送して2008年9月に台湾の台北平野において、Kr採取と現地実験室で今年度新たに確立したガス減容法による減容積処理を行い、減容後の圧力容器に補足された希ガス類サンプルを空輸で日本に持ち帰って、実験室にて再度精製処理の後、液シン測定を行った。航空機輸送には日本-台湾間の往復で70万円必要としたが、当初の目的であった海外でのKr測定が可能であることを確認できた。前述のCFCs濃度の検証を行った釜石鉱山において、Kr法の検証を今年度末までに実施する予定にしている。また、北関東地域におけるKr測

定に関しても、年度内に実施してゆく計画である。

各地の地下水ポテンシャル変遷に関するデータ収集は、関東地域では別途実施中の調査報告から間接的に入手できている。また、これらのデータを利用して 3 次元シミュレーションモデルを走らせて、その成果として揚水域の変遷に伴う涵養域の変化をモデル的に再構築することに成功している。バンコク・ジャカルタにおける地下水ポテンシャル変遷データも入手可能なものはほぼ入手完了し、バンコクにおいてはすでに 3 次元シミュレーション構築とその作動に着手しており、ジャカルタにおいては今年度中に 3 次元モデルの構築に着手する予定である。これらの個別都市のモデル化と並行して、5 都市の地下水変遷の相互比較をモデルを通して検証することを目的に、今年度より同一のソフトを利用して同一の境界条件や帯水層精度による広域モデルの構築に着手する予定である。この広域比較モデルを通して、上記④の課題への対応が図られると考えている。

次年度計画については、まだ詳細な検討はしていないが、当初計画では補足海外調査を実施したり、当初計画に盛り込まれていない海外他都市（マニラ、ソウル、台北）や、国内他都市（大阪？）での調査をすることも想定されている。現時点では、今年度台北での Kr 調査を実施した結果、海外でも輸送費が確保できて、必要な冷媒等が確保できるある程度の実験室が確保できれば、Kr 調査の海外実施も可能であることが確認されたため、当 G の対象都市の一つであるジャカルタにおける Kr 調査の実施をカウンターパートと共に検討する。

また、今年度物質 G より大阪平野の同位体サンプルの分析依頼を受けているのに関連して、大阪平野でも CFCs や Kr の採水調査実施の意味があるとの判断がつけば、これも対象地域の一つとして検討したい。そのほか、CFCs 法、Kr 法のさらなる検証地域の追加や、シミュレーション解析上不足している関連データの継続収集などを考えている。

# 水グループ 2007-2008成果報告と 年度内計画・次年度計画について

嶋田 純(熊本大学)

1

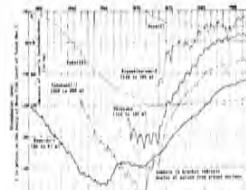
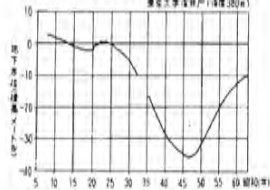
## 水Gの目標

- 水グループの目標は、対象としているアジア諸都市(関東、バンコク、ジャカルタ、大阪、etc)において以下の4項目を実施することである。
- 都市化に伴う地下水流動の変遷を捉えるための地下水ポテンシャルデータの収集
- 地下水帯水層に保存されている都市化に伴う人為的な影響の時系列変化の抽出
- その解析に必要とされる若い地下水年代トレーサー(CFCs、Kr85)手法の開発
- これらの諸都市からのデータを比較検討することで異なる都市発達段階の違いの認識

2

## Groundwater change in Kanto plain (Tokyo)

地下水変動グラフ



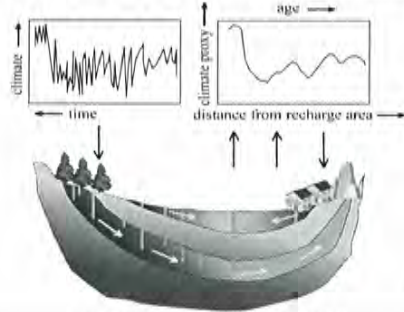
1. In recent years, the water table of the Kanto plain has descended to the extent that the water table is now below the ground surface in many places. This is due to the rapid increase in groundwater pumping for industrial and domestic use. The water table is now below the ground surface in many places. This is due to the rapid increase in groundwater pumping for industrial and domestic use. The water table is now below the ground surface in many places. This is due to the rapid increase in groundwater pumping for industrial and domestic use.

RIHN, Bali Symp. 2007.12

1

Paleo information  
(time record)  
from groundwater aquifer  
(recharge temperature, etc)

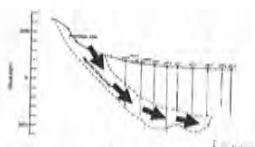
Groundwater flow system  
information  
by environmental isotopes  
(residence time, recharge  
temperature/altitude, etc)



(EOS No.24,1998)

4

## Great Artesian Basin Australia



5

## CFC and <sup>85</sup>Kr for modern groundwater age tracer

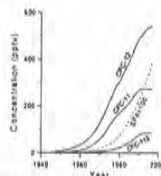


Figure 16.1 Atmospheric mixing ratios of CFC-11, CFC-12, CFC-113, and SF<sub>6</sub> in North America in 1990.

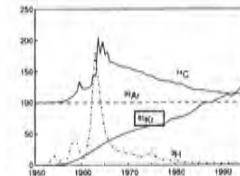


Figure 16.2 <sup>85</sup>Kr activity in groundwater from 1960 and 1980 compared to CFC-113 activity in 1960 in the same aquifer. The concentration of CFC-113 in 1960 was 100 ppb. The concentration of <sup>85</sup>Kr in 1960 was 100 ppb.

Used as refrigeration and air conditioning or spray-gas until 1990

Kr-85: half life 0.7yr  
Kr-85: origin Nuclear power plant, reprocessing plant

RIHN, Bali Symp. 2007.12

6

## 本日の話

- 水Gの当初目標と今年度の実施項目について(嶋田)
- BKK地下水流動の実態と今後の展望(山中)
- Kr抽出法と減容法の開発、その現場適用と問題点(馬原・百島)
- 今年度の計画(嶋田)

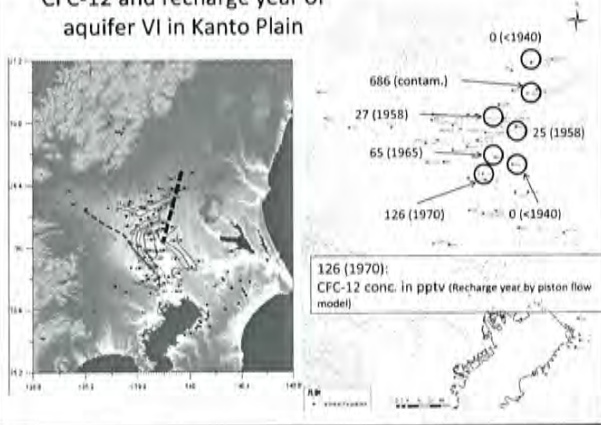
7

## 2008年度後半の計画

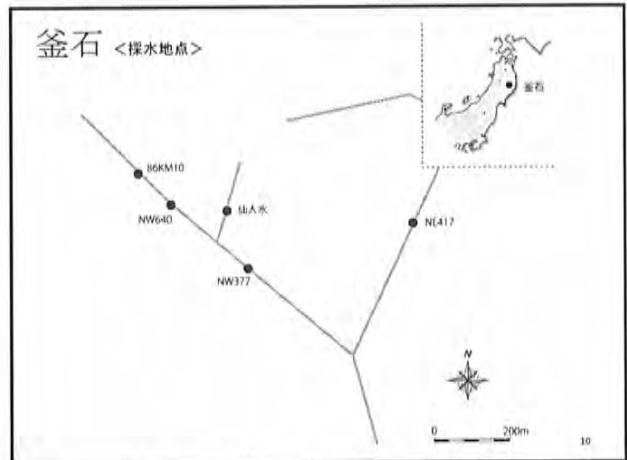
- 北関東地域におけるKr採水調査(3月)
- 釜石鉱山 におけるKr法、CFCs法の検証(3月)
- Jakarta帯水層シミュレーションの着手

8

CFC-12 and recharge year of aquifer VI in Kanto Plain

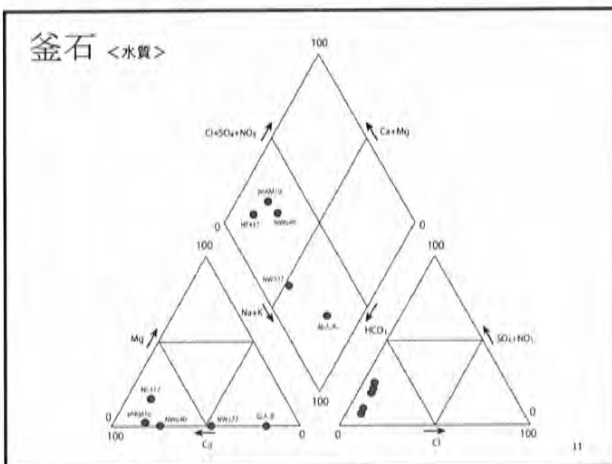


釜石 <採水地点>



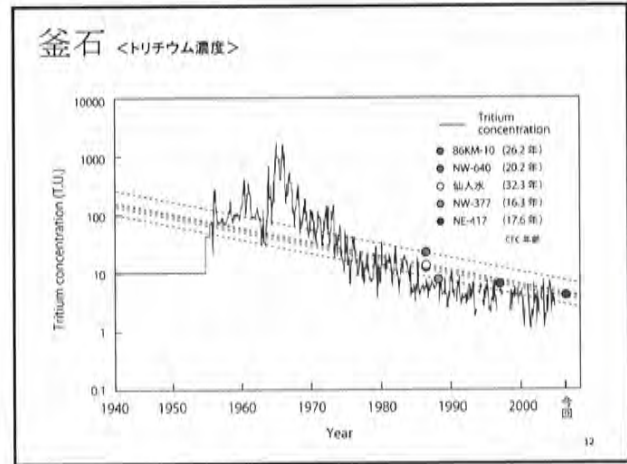
10

釜石 <水質>



11

釜石 <トリチウム濃度>



12



## 2008 年度研究内容および成果

産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 地下水研究グループ  
井川 伶欧

Kr を用いた地下水涵養年代の推定を目的として、2008 年 8 月 31 日から 9 月 6 日において、台湾の省民と三重にて地下水の採水および地下水中の溶存ガスの抽出作業を行なった。省民と三重はそれぞれ、地下水の涵養域と流出域にあたる。作業を行なうにあたり、台北市内の中央研究院にて現地のカウンターパートと採水場所の打ち合わせ、および観測機材の作動確認を行なった。

省民および三重では、地下水深度を測定した後、ポンプの排水量と井戸の口径および深度から推定した残存水量を用いて、井戸内の全残存水の排出時間を産出し、十分な排水作業を行なった。抗内の水を十分に置換したあと、地下水を溶存ガス抽出装置に通し、溶存ガスの分離を行なった。地下水流出域である三重では、地下水中の溶存ガスの量が大きかったため、測定に十分な Kr 濃度を確保するために、2 回ガスの採集作業を行なった。溶存ガスの抽出後に行なった採水では、地下水中の水素・酸素安定同位体比、トリチウム濃度、炭素同位体比、溶存無機イオン濃度、および CFCs 濃度の測定に必要な容量をそれぞれ採取した。電気伝導度 (EC)、pH、溶存酸素濃度 (DO)、酸化還元電位 (ORP)、および水温の測定も採水と同時に行なった。両地点における各成分の値を表 1 に、そしてそれらの比較結果を図 1 に示す。DO および ORP に関しては、両地点において優位な差が見られたが、EC および pH に関しては、相対的に両者における差は小さかった。今後は、熊本大学や九州大学において測定された各種分析結果と今回の現地における測定結果を組み合わせることにより、滞留時間を含めた台湾における地下水の流動系を明らかにしていく予定である。

Table. 1 Hydrological components in observation sites

Location	Groundwater level (m)	DO(mg/l)	ORP(mv)	EC(ms/m)	pH	Water temperature(°C)
省民(涵養域)	-10.5	1.17	-57	42	6.26	24.3
三重(流出域)	-5.95	0.14	-212	38	7.51	24.8

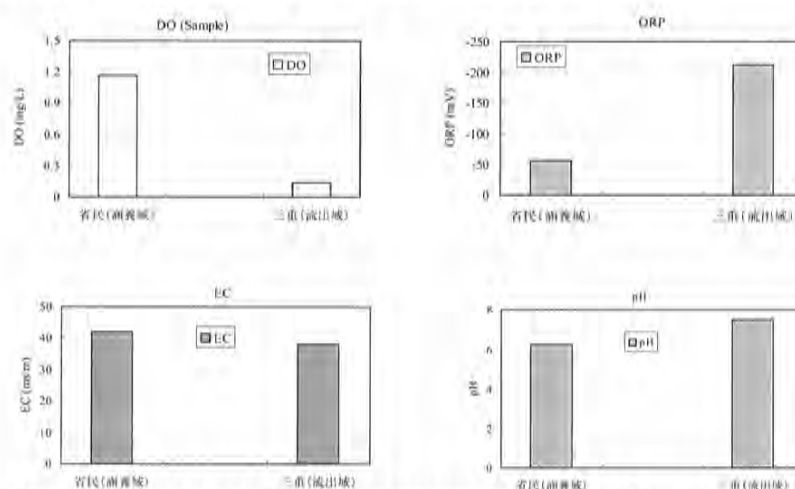


Figure 1. The comparison of hydrological components between recharge and discharge areas

地表面短波放射量(S)の変動への大気要素の寄与を全天（晴天と曇天の双方を含む）の場合について放射伝達方程式を用いて調べた。雲、エアロゾル、水蒸気といった大気要素の微小な増加に対する S の感度を potential radiative forcing (PRF:潜在的放射強制)と定義することにより、ある要素が引き起こす S の変化はその要素の変化量と PRF の積として表現される。中国を対象に1月と7月の PRF の地理的特徴を記述した後、中国東部の Jinan について1984年から1990年までの S 変動に関する各大気要素の寄与の評価を試みた。いくつかの短所もあるが、S 変動に対する各大気要素による相対的寄与を決定する際の PRF の有効性が確認された。特に正確なエアロゾルの吸収特性を用いることが定量的な放射収支研究にとって極めて重要であることが示唆された。

The contributions of atmospheric factors to surface shortwave irradiance (S) variability was investigated, using radiative transfer calculations to examine all sky (both cloud-free and cloudy) conditions. We defined the sensitivities of S to differential increases from given values of cloud, aerosol, and water vapor as potential radiative forcing (PRF). Thus, the expected change in S due to one factor would be the product of the PRF and the change in that factor. Geographical features of the PRF were described over China in January and July, and then the PRF was applied to evaluate the relative contributions of related factors to S variability over Jinan (the central-eastern China) during 1984 and 1990. Although some shortcomings were pointed out, the usefulness of the PRF was confirmed for determining the relative contributions. In particular, to use accurate aerosol absorption properties was suggested to be crucial for quantitative radiation budget estimates.

プロジェクトに関する査読付き主著論文のリストです。

**Kawamoto, K.**, and T. Hayasaka (2008), Relative contributions to surface shortwave irradiance over China: A new index of potential radiative forcing, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L17809, doi:10.1029/2008GL035083.

**Kawamoto, K.** (2008), Effect of precipitation on water cloud properties over China, *Geophys. Res. Lett.*, in press

## 地下水・湧水の CFCs 濃度分析システムの構築と滞留時間推定への適用性の検討

辻村真貴（筑波大学大学院生命環境科学研究科）

萩原 厚（筑波大学大学院生命環境科学研究科 M1）

沖積平野，扇状地，またデルタ地域などの浅層地下水は，人間活動と自然環境の関係性に関わる各種の情報を内包している．このような地下水は，一般的には数十年程度と比較的短い滞留時間からなる．この時間スケールにおける地下水の涵養年代推定には，従来  $^3\text{H}$  が用いられてきたが，降水中の  $^3\text{H}$  濃度がほぼ天然レベルまで低下した現在， $^3\text{H}$  にかわるトレーサーとして，CFCs (Chlorofluorocarbon) が，用いられるようになり，欧米では適用事例が積み重ねられつつある．しかし国内においては，CFCs をトレーサーとして地下水の滞留時間推定に適用した例はなく，分析手法も確立されていないのが現状であった．

本年度は，昨年度までに確立した国内初の地下水・湧水の CFCs 濃度分析ラインに加え，大気中の CFCs 濃度も測定できるよう，ラインの増設を行った．

昨年度に引き続き，タイ・バンコク都市域および近郊において，地下水，大気のサンプリング，CFCs 濃度分析を実施するとともに，国内においては，東京都西部，筑波山近郊，愛媛県西条市，広島県西条市において，湧水，浅層地下水のサンプリングと CFCs 濃度分析を実施し，これまで情報のきわめて少なかった，アジア域の地下水における CFCs 濃度データを着実に蓄積しつつある．

タイ・バンコクでは，昨年度得られたデータを，より高い精度で確認することを目的とし，CFCs 汚染を生じないことが確認されている専用ポンプを日本から輸送し，これにより，昨年度と共通の地点，および昨年度よりも深い，深度約 450 m の帯水層までを対象に地下水サンプリングを実施した．その結果，深度約 250 m の NB 帯水層までは地下水中に CFCs 濃度が確認されたが，これ以深の帯水層においては，CFCs は検出されなかった．また，地下水ポテンシャルの低下が著しい地点において，選択的に CFCs が検出される傾向が確認された．このことから，過剰揚水にともない引き起こされた鉛直方向の誘発涵養により，CFCs を含んだ浅層地下水が深層地下水に混入したことが示唆される．昨年度調査において示されていた傾向が，本年度より明瞭に確認されたことになる．今後，浅層地下水からの混入割合や，浅層地下水が混入した深層地下水の滞留時間を，モデルなどを併用しつつ算定する予定である．

一方，東京都西部の湧水約 10 箇所からは，大気中の CFCs 濃度における北半球平均値の約 10~100 倍の CFCs が検出された．東京都の浅層地下水においては，大気以外の CFCs 起源による汚染がかなり存在することが示唆された．こうした環境下においては，CFCs を滞留時間の指標としてではなく，都市化にとまなう地下水への人為負荷の指標として利用することが考えられる．具体的な指標化のスキームを検討することが，今後の課題である．

## 関東平野の水理地質構造モデルおよび揚水量復元手法の改良

徳永朋祥（東京大学）・愛知正温（同）

本年度は、関東平野における地下水ポテンシャル変化の再現性や涵養量推定の精度を向上するために、これまで構築してきた地下水流動モデルを改善することを目的とし、地質構造や揚水量に関する資料の収集・整理を進め、水理地質構造モデルおよび揚水量データの見直しを行った。

その結果、水理地質構造モデルについては、主に、以下の三点について改善を行った。まず、これまでは関東平野の堆積盆構造を、東京湾を中心とする盆状構造としてモデル化していたが、埼玉県久喜市周辺を中心とする盆状構造も含めた二つの盆状構造が存在するものとしてモデル化し直した。また、水理地質基盤面深度については、従来は地質構造のみに基づいて設定していたが、全国地下水資料台帳の記載から自治体ごとの最大井戸深度を抽出して GIS 上で空間分布を整理し、これを地下水利用の実態的な下限深度として考慮し、水理地質基盤面深度を修正した。最後に、従来の帯水層区分は 8 層としていたが、今回はより詳細な区分を行い、9 層の帯水層として整理しなおした。

また、揚水量データについては、自治体集計による届け出制の揚水量統計と、農家へのアンケートを主体とした農業用地下水利用実態調査のデータを相互に比較することにより、農業用地下水揚水量データのクオリティチェックを行い、揚水量の推定作業を行った。また、年間降水量、農地面積、農業用揚水量の相関関係を整理し、その結果に基づき、農業用地下水揚水量の統計がない年代における揚水量を推定した。

上記のような水理地質構造モデルの修正および揚水量データの見直しに基づき、関東平野地下水流動モデルを再構築し、1920年から2003年までの地下水流動の再現解析を試みた結果、地下水ポテンシャルの時空間分布の再現性が大きく向上した。

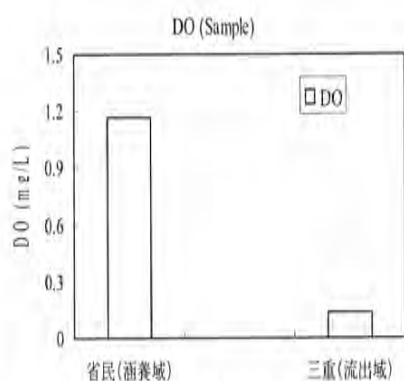
過去に大規模な地下水開発が行われた沿岸都市域において、都市化に伴う地下水水質の変化のプロセスを明らかにすることは容易ではない。例えば、東京低地南部の東京湾岸域では、1910～20年代から地下水開発が始まり、1960～70年代の揚水規制が行われるまで、大量の地下水が揚水されており、この過程で地盤沈下が発生している。一方、1950年代以降の旧地質調査所や旧東京都土木技術研究所などの調査によって、この地域には数百 mg/l～1万 mg/l 以上の高い塩化物イオン（以下、Cl<sup>-</sup>）濃度を有する地下水が賦存することが知られている。この高 Cl<sup>-</sup>濃度地下水の起源や成因については、化石水的なものであるとする説や、地盤沈下に伴う粘性土層中の間隙水の絞り出し説、地下水開発に伴う現世海水の帯水層への浸入説などがある。これらの因子が、都市化・地下水開発の過程で複合的に関係していることも考えられ、いまだ解明されるには至っていない。

都市化・地下水開発に伴う地下水水質の変化を検討する上で、都市化以前あるいは初期の水質に関する情報は、大きな手掛かりになると期待される。当該地域には、東京市衛生試験所が1930年前後に行った地下水の水質検査（飲料水としての適性検査）の結果が残されている。この報告に記載されている水質項目は限られているが、地下水開発の初期に近い時期の水質情報を知る手がかりになると考えられる。そこで本研究では、これらの水質情報の分布と最新の地下地質情報を対比することで、当該地域における地下水の水質性状を把握することを試みた。

報告にはスクリーン情報が記載されていないために取水深度を特定することはできないが、井戸深度および当該地域の地質構造から、地下水は東京層群ならびに上部上総層群中から取水されていると考えられた。Cl<sup>-</sup>濃度に着目すると、100mg/l 以上の値を示す地下水は、東京駅の南東付近から隅田川に沿うような北北東の方向に向かって直線状に分布した。この地域の地下地質構造をみると、東京層群より下位の地層が褶曲しており、褶曲軸の方向は高 Cl<sup>-</sup>濃度地下水の分布方向とほぼ一致した。このことから、褶曲帯内にある地下水は相対的に Cl<sup>-</sup>濃度が高いことが考えられ、高濃度の Cl<sup>-</sup>は地層中から供給されたことが示唆された。今後は、他の水質項目も併せて検討する。

## 1. 2008 年度実施概要

- (1) 装置改良：2006 年度に作成した外部還流タイプの中空糸膜モジュール(株大日本インキ製 EF-040P)を装着したプロトタイプタイプの溶存ガス抽出装置の小型化を図った。主な改良点は、配管を短くして、全体幅を従来の半分の長さとした。抽出装置の心臓部分であるモジュールと真空ポンプ・コンプレッサー類は性能の関係から軽量化ができなかったため、全重量は、100kg と軽減にはいたらなかった。
- (2) 台湾での現位置 Kr 抽出実験：2008 年 9 月 3 日、9 月 4 日台湾淡水河流域の台北 Basin 内の涵養域(省民)と流出域(三重)にある地下水観測井戸から、溶存酸素濃度を抽出率インディケーターとして計測しつつ地下水を揚水し溶存ガスの抽出を行った。揚水量は、省民では 2245.7L、三重では総計 2146.3L(2 本のガスボンベに抽出)であった。ガス抽出量は、おおよそ 275L/cylinder であった(抽出率を過去のデータを基に 90%と仮定)。



現位置での初期溶存酸素濃度の比較



三重市における採水の様子

## 2. 現位置採水の問題点

- (1) 抽出装置の重量を考慮し輸送の利便性から軽トラック上に固定する必要がある。そのために採水井戸までのアクセス路の確保が不可欠となる。採水地点の選定時に事前確認を図る必要がある。
- (2) 溶存ガスの分離性能を確保するためには、真空度(9Torr)を確保する必要がある。そのためには、十分に電気容量の大きな発電機を準備する必要がある。
- (3) 現位置でのガス分離指標として現位置で溶存酸素(DO)を計測しているが、還元雰囲気にある地下水では溶存酸素濃度が低いため、分離が十分に行われているか判断が出来ない。地下水の環境条件に依存しない現位置 Online で計測できるガス分離指標の選定が必要である。

<sup>85</sup>Kr地下水年代測定のための現位置  
地下水からの溶存Krの抽出  
京都大学原子炉実験所 馬原保典

### Kr抽出装置改良

- 外部遠流タイプの中空系膜モジュール(株大日本インキ製 EF-040P)を装着したプロトタイプの溶存ガス抽出装置の小型化を図った配管を短くして、全体幅を従来の半分の長さとした。モジュールと真空ポンプ・コンプレッサー類は性能の関係から軽量化ができなかったため、全重量は、100kgと軽減にはいたらなかった。



1

## 台湾での現位置Kr抽出実験 (I)

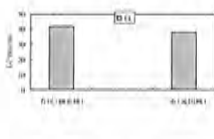
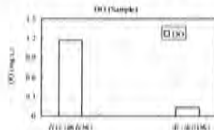
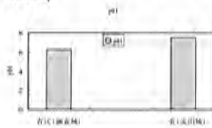
- 2008年9月3日、9月4日台湾淡水河流域の台北Basin内の涵養域(省民)と流出域(三重)にある地下水観測井戸から、溶存酸素濃度を抽出率インディケータとして計測しつつ地下水を揚水し溶存ガスの抽出を行った。



2

## 台湾での現位置Kr抽出実験 (II)

- 揚水量は、省民では2245.7L、三重では総計2146.3L(2本のガスボンベに抽出)であった。ガス抽出量は、おおよそ275L/cylinderであった(抽出率を過去のデータを基に90%と仮定)



3

## 現位置採水の問題点と解決

(問題点)

- 抽出装置の重量を考慮し輸送の利便性を図る
- 溶存ガスの分離性能を向上のため、真空度(9Torr)を確保
- 酸化・還元依存しないガス抽出指標の検討と即時原位置測定

(解決策)

- サイトの事前確認を含め採水計画を十分に検討
- 十分に電気容量の大きな発電機を準備する。適切な電源確保。
- 溶存酸素濃度に替えて、ラドンの原位置測定を検討

4

## 参考：<sup>3</sup>H+<sup>3</sup>He法との比較(熊本・京大炉)

- 地下水年代

$$T = 17.69 \ln \left[ \frac{4.01 \times {}^3\text{He}_{\text{rel}}}{\text{TU}_{\text{water}}} \times 10^{14} + 1 \right]$$

サンプル	<sup>4</sup> He (ccSTP/g)	<sup>3</sup> He/ <sup>4</sup> He	<sup>3</sup> H (TU)	Ar涵養温度 (°C)	地下水年代 (year)
熊本 江津湖	9.78E-8	2.75E-6	2.1±0.4	8	65.2 (10)*
熊本 大津	6.07E-8	1.44E-6	2.1±0.8	10	30.6 (4.5)*
京大炉	4.10E-7	2.05E-6	1.7±0.6	2	92.2 (12.7)*

5

## 結論：<sup>85</sup>Kr測定地下水年代測定

- <sup>85</sup>Kr測定では、若い地下水の年代が決定できる
- 地下における地下水は、年代の異なる地下水の混合で形成されていると考える。非常に若い地下水(循環性の高い地下水)と非常に古い地下水(滞留性の高い地下水)の混合を仮定すると、若い地下水の滞留時間を決定できる(メリット)

6

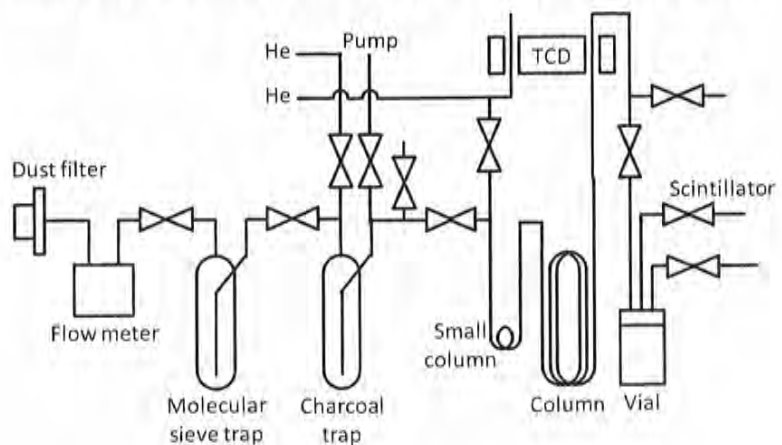
## 地下水溶存ガス中の Kr-85 の分離と放射能測定法

九州大学・アイトーブ 総合センター 百島則幸

半減期 10.7 年の Kr-85 は主に核燃料再処理施設から大気へ放出されている人工放射性核種である。大気中濃度は 1950 年代から増加傾向にあることから、過去の大気中濃度と地下水中の Kr-85 濃度を比較することで地下水の年代測定が可能となる。そのためには、地下水中の溶存ガス回収法と Kr-85 放射能測定法の開発が必要である。本研究は、溶存ガス中の Kr-85 放射能測定法の確立と実試料への適用を目的としている。

【分離装置と放射能測定】地下水中の溶存ガスは基本的には大気と考えられるが、その他の成分として二酸化炭素とメタンの地下での付加が考えられる。Kr-85 の放射能を測定するためには、溶存ガスから安定 Kr を分離して取出す必要がある。ここではガスクロマトグラフィを主体とした Kr 分離を行なうための分離装置を作製した。分離装置は、モレキュラーシーブを用いた二酸化炭素と水分の除去系、活性炭カラムを用いた酸素と窒素の粗分離系、ガスクロカラムによる Kr の精密分離系と精密分離した Kr (Kr-85) の放射能測定試料を作るための試料調製系からなる。図に分離装置を示す。Kr-85 は  $\beta$  線放出核種であることから、放射能測定は極低レベル液体シンチレーション計測法 (LSC) で行なう。一般大気 1000L を処理し (Kr 回収率 75 %)、石英製バイアルとパラキシレンベースシンチレータを用いて LSC で 2500 分測定した場合、すべての誤差を考慮しても 2 - 3 % の精度で測定できることがわかった。本手法で求めた福岡市の 2008 年の大気中 Kr-85 濃度は  $1.53 \pm 0.04 \text{ Bq/m}^3$  であり、報告されている日本の大気中 Kr-85 濃度の範囲内にあった。

【問題点】地下水には、少なからずある程度の二酸化炭素が溶存していることがわかった。そのためモレキュラーシーブ除去系の二酸化炭素処理能力を超えることが考えられるので、回収した溶存ガスは必ずアルカリ溶液に通してから、モレキュラーシーブの除去系へ通すことにした。また、還元的雰囲気地下水にはメタンが多く含まれていることがわかった。溶存ガスに酸素が十分に含まれている場合は、回収した溶存ガスを燃焼装置に通してメタンを除去することができる。市販の酸素ガスには現在の大気中の Kr が含まれていることから、市販の酸素ガスを回収した溶存ガスに加えることはできないので、酸素を添加する場合は水を電気分解して酸素を調製する必要がある。ポンペに回収した溶存ガスの減容を図るため、現地で窒素と酸素の粗分離までできるように活性炭カラムを脱着式にした。現地で粗分離まで行なった活性炭カラムを持帰り、実験室の分離装置に装着して Kr の精密分離を行なっても問題なく放射能測定ができることを確認した。





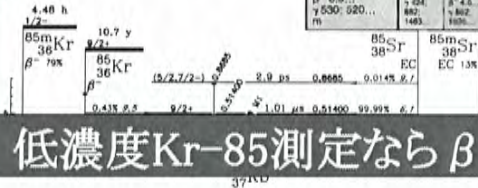
# Kr-85放射能分析

九州大学アイトーフ総合センター  
百島則幸

## Kr-85の核データ

半減期: 10.76年  
β壊変:  
最大エネルギー-0.67MeV (100%)  
γ線: 0.514MeV (0.43%)

Rb 85 72.17 1.02 m β <sup>-</sup> 1.3... γ 1077... ε 0.10	Rb 86 38.7 d β <sup>-</sup> 0.7... γ 1014... ε 1.7	Rb 87 27.83 4.8 · 10 <sup>10</sup> a β <sup>-</sup> 0.3... γ 1010... ε 0.10
Kr 84 56.987 4.48 h β <sup>-</sup> 0.09 + 0.02	Kr 85 10.76 a β <sup>-</sup> 0.67... γ 0.514... ε 0.43	Kr 86 17.279 β <sup>-</sup> 0.603
Br 83 2.40 h β <sup>-</sup> 0.9... γ 530; 520... ε 1.03	Br 84 6.0 m β <sup>-</sup> 0.7... γ 4.6... ε 1.3%	Br 85 2.87 m β <sup>-</sup> 2.5... γ 902; 925... ε 1%



低濃度Kr-85測定ならβ線

## 低濃度Kr-85のβ線測定には

低バックグラウンド液体シンチレーション  
カウンター(LSC)

特注の石英バイアルに  
Krを閉じ込めて測定



特注石英バイアル

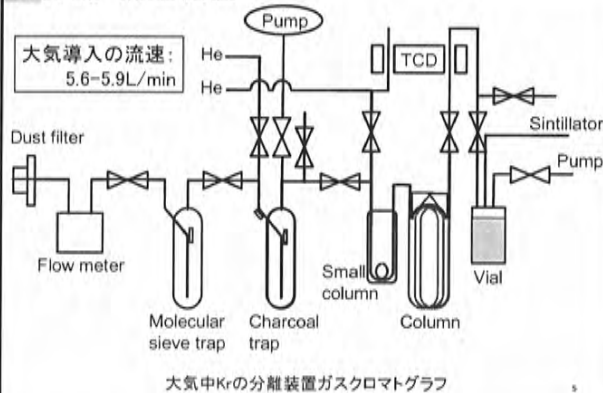


## 地下水に溶存しているガスは 空気とCO<sub>2</sub>とCH<sub>4</sub>

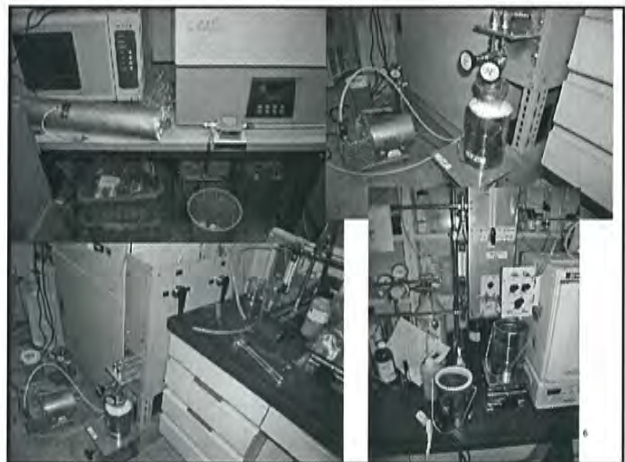
- 空気(N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar, He, Kr, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>...)はヘンリーの法則で溶けている。分圧に比例。
- ほとんどは、窒素、酸素であり大量の酸素・窒素の除去が必要
- 炭酸ガスとメタンは地下水に余分に加わる可能性

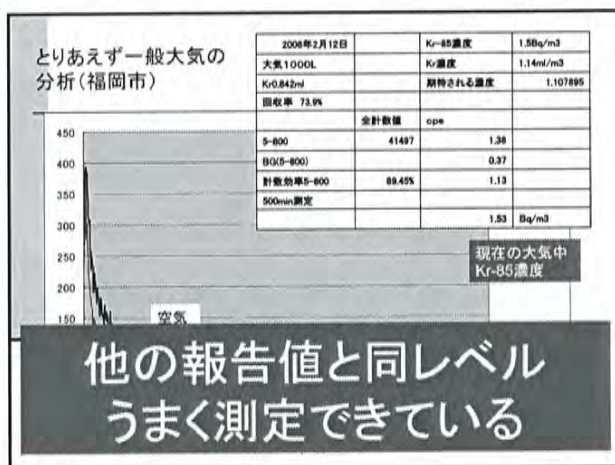
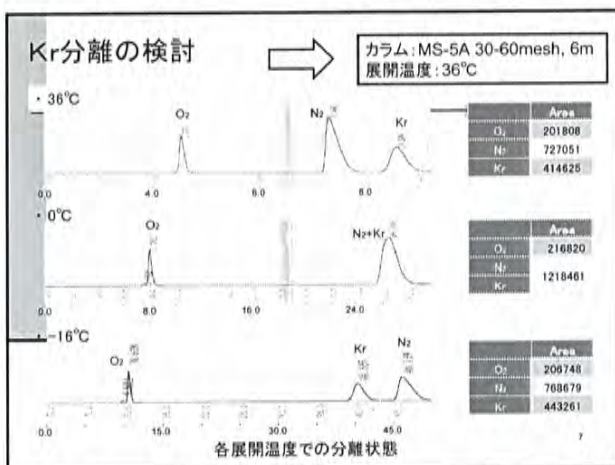
ガスの分離は  
ガスクロマトグラフィー

## Kr分離・捕集装置



大気中Krの分離装置ガスクロマトグラフ



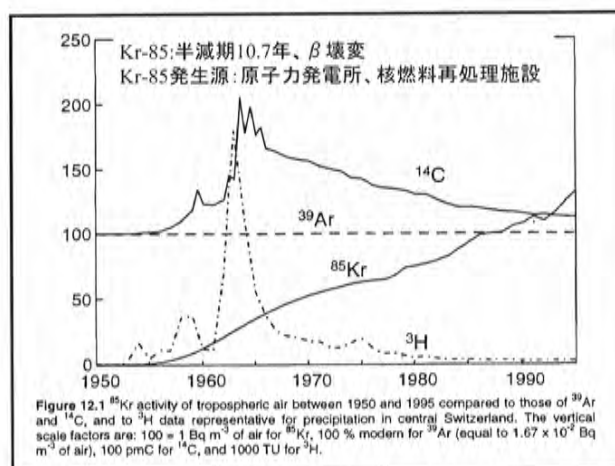


## 測定精度(誤差(K=1))

- (1) Kr-85標準ガス値付  
2.5% 証明書に記載
- (2) Kr-85標準ガスサンプリング  
0.46% シリンジでのKr-85標準ガス  
サンプリング誤差(n=5)
- (3) ガスクロによるKr定量  
0.33% 安定Kr定量誤差(n=5)

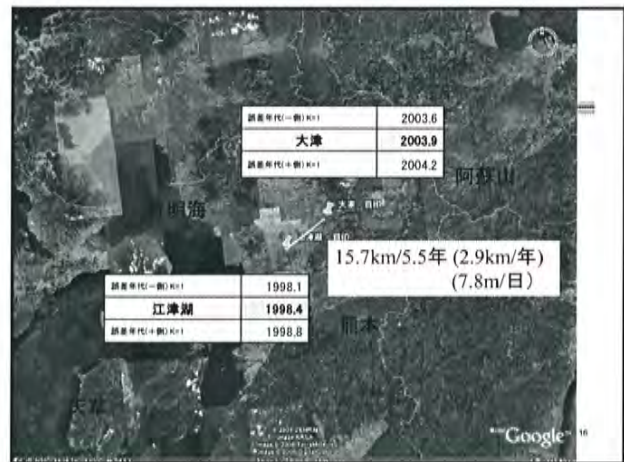
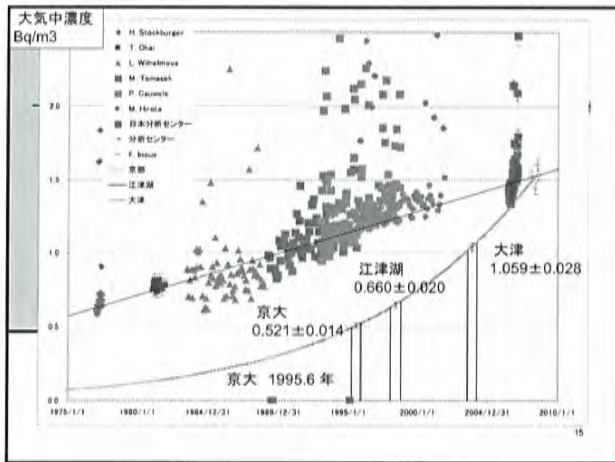
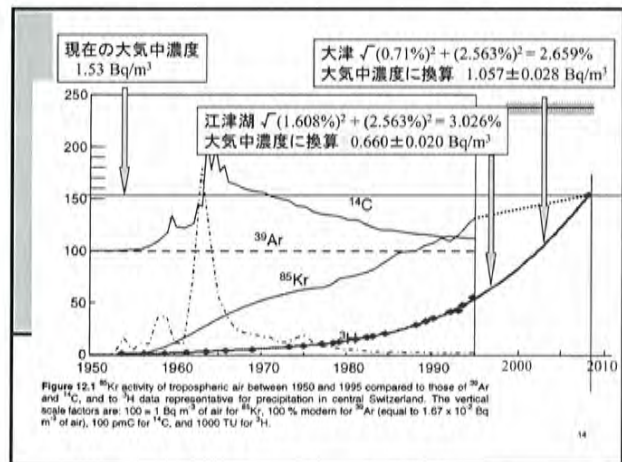
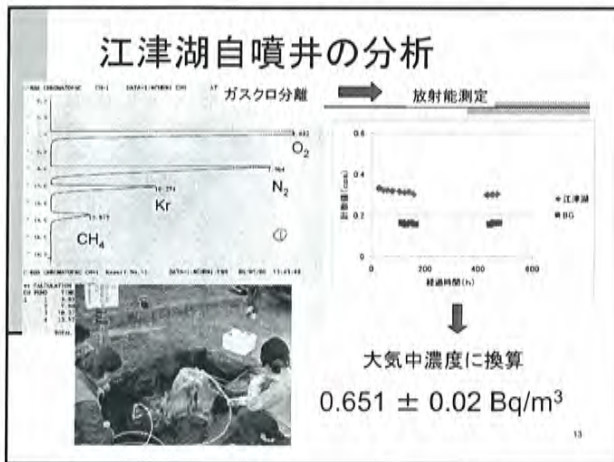
放射能測定以外の誤差は2.563%

高い測定精度が得られる



## 地下水年代測定への適応

- 京都大学原子炉実験所井戸水  
(6m<sup>3</sup>、2007年12月18日)
- 熊本市江津湖自噴井  
(5178.9 L、2008年3月14日)
- 熊本市大津観測井  
(6542 L、2008年3月15日～16日)



### 進行中のKr-85分析

- 装置の改良(海外への対応)
- 二酸化炭素の除去
- メタンの除去

### 分離装置の改良(1)

活性炭トラップを脱着式に改良

## 分離装置の改良(2)

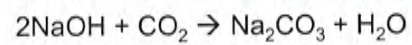


現地調達が必要なもの：ヘリウムガス、ドライアイス、液体窒素

19

## 大量の炭酸ガスの除去(1)

4連の3モル NaOH溶液にバブリングさせて除去



20

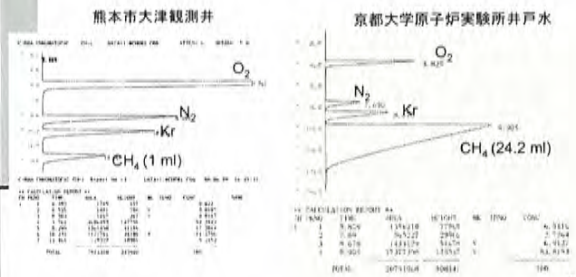
## 大量の炭酸ガスの除去(2)

溶存ガスはバブリング装置、ガラストラップ(ドライアイス温度)を通してバルーンに回収



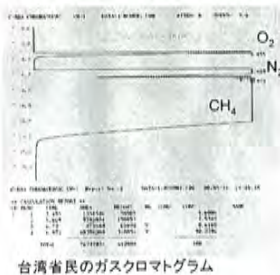
21

## 大津と京大の地下水中のメタン



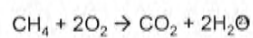
22

## 台湾の省民地下水中のメタン



台湾省民のガスクロマトグラム

1. 大量のメタンが含まれていた(93ml)。除去が必要
2. 分離ガスは現在AIバッグに保管中
3. 燃焼してメタンを除去する



## 数値解析を用いた海底地下水湧出の変動特性評価の試み

\*安元純（総合地球環境学研究所）

### 【はじめに】

昨今、海域の生物生息環境の悪化が大きな社会問題となっており、その原因の一つに、沿岸域に農耕地や都市域が発達したことによる陸域からの栄養塩類等の物質負荷量の増加が挙げられる。最近の研究成果により、海域への地下水経路による栄養塩類等の供給が、河川経路の供給と並び、沿岸海域や閉鎖性水域における栄養塩類の循環や一次生産者に重要な役割を果たしているとの認識が一般的になっている。海底地下水湧出（SGD）は陸域由来の淡水成分と地下水と海水との境界面に沿って循環する海水成分（再循環水）とで構成されている。再循環水は全SGDの中で大きな割合を占めることもあり、塩分のみならず種々の化学成分を帯水層から海域へ輸送する重要な要素である。再循環水を含んだSGDの変動特性は、潮位変動の影響を受けることが C. Robinson (2007) の行った数値解析により示されているが、数値解析と現地観測との比較までには至っておらず、数値解析の妥当性の検証は十分であるとはいえない。

そこで本研究では、大阪湾で唯一自然海岸が残る神戸市西宮市御前浜を調査対象地域とし、現地観測と数値解析を実施し、海底地下水湧出機構を解明することを目的とする。

### 【調査方法】

観測方法は、神戸市西宮市御前浜の潮間帯に陸-海方向の観測線を設け、数 m 毎にオートシーページメーター及びピエゾメーターを設置し、それぞれで海底からの地下水湧出量と地下水ポテンシャルの自動計測を行った。

### 【解析方法】

本研究で使用する数値モデルは、2次元不飽和-飽和領域における圧力水頭に関する基礎方程式と、塩分濃度に関する2次元移流分散方程式を連立させたものである。本モデルの解析場は図1に示すように、御前浜の砂浜海岸を模した形状を与えた。

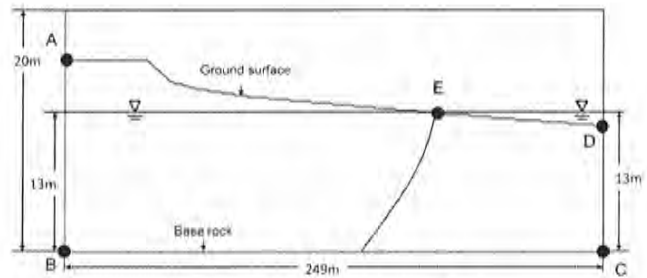


図1 数値解析場の模式図

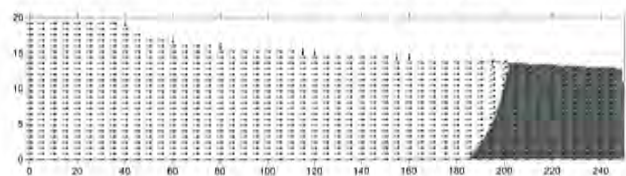


図2 動的定常状態

計算条件は、定常計算と非定常計算を行い、非定常変動では、潮位変動を与えた計算を行った。

### 【結果と考察】

まず、海底地下水湧出の流出特性を把握するために、潮位変動の有無を変えた2パターンでの数値計算を行った。図2は非定常計算を開始してから、塩水楔の形状が概ね一定となった動的な平衡状態に達した図である。一方、潮位変動を与えた非定常計算では、潮位振幅が比較的大きな場合には、C. Robinson (2007) が示すように、淡塩境界面の出口付近で局所的な循環流が形成された。この結果は、定性的ではあるが御前浜におけるSGDの観測結果を再現する結果となった。

今後はさらに詳細な現地観測を行と共に、栄養塩等の物質輸送を組み込んだ数値解析を行い、SGDの量と質の両面から定量的評価を行う予定である。

### 【参考文献】

C. Robinson, L. Li & D.A. Barry (2007): Effect of tidal forcing on a subterranean estuary, *Advances in Water Resources*, 30, 851-865.

山中 勤（筑波大学陸域環境研究センター）

2006年度・2007年度に引き続き、3回目の現地調査を8月3日～9日に実施した。主な目的は、CFC再分析用の採水（コンタミネーションを極力防ぐポンプを使用）と地下水モデル入力データの収集である。CFC再分析結果は、昨年度と同一の井戸であってもかなりの違いが認められ、昨年度の調査結果は多かれ少なかれCFCのコンタミネーションの影響を受けていることが判明した。一方、今年度の測定においても有意なCFC濃度が検出されている井戸も存在しており、場所によっては過去50年以内に涵養された地下水が確実に存在していることが示唆された。

以上の現地調査に加え、今年度からVisual MODFLOWを使用した地下水流動シミュレーションに着手した。既存データセットやJAICA報告書などをもとにグリッド生成や帯水層パラメータの設定を行い、揚水量なしの定常シミュレーションと過去50年間の揚水量データを与えた非定常シミュレーションを実施した。現在のところ、バンコク首都圏全体の総揚水量時系列データをもとに仮想的な揚水量分布を推定して用いているが、地下水局から詳細なデータを入手できることになったので、詳細データが整い次第、現実的なシミュレーションを行い、水理パラメータのキャリブレーション等を行ってゆく予定である。

現段階の結果では、集中的な揚水とそれともなう局所的水頭低下が生じているため、バンコク粘土層を通過する都市部での鉛直下向きフラックスが過大評価されている可能性があるが、それを上回る量の地下水が郊外からの水平流動もしくは一度深層を経由した上での上向きフラックスとして都市部の主要3帯水層（PD・NL・NB）に補給されていることが見えてきた。今後、揚水条件や水理パラメータに対する感度分析を実施することにより、持続可能な地下水利用に関する指針が得られるものと期待される。

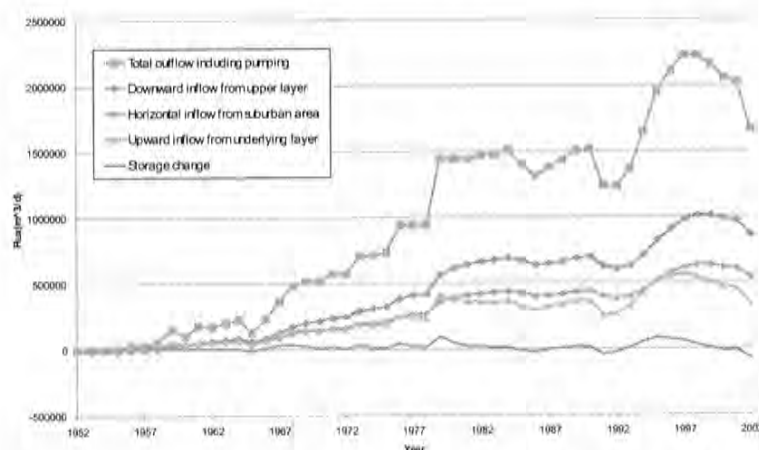
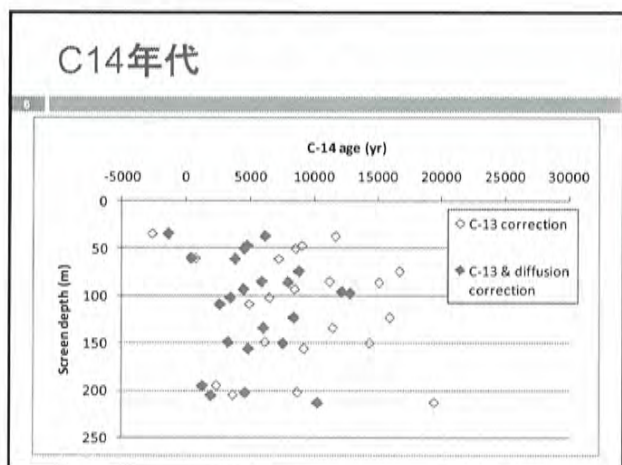
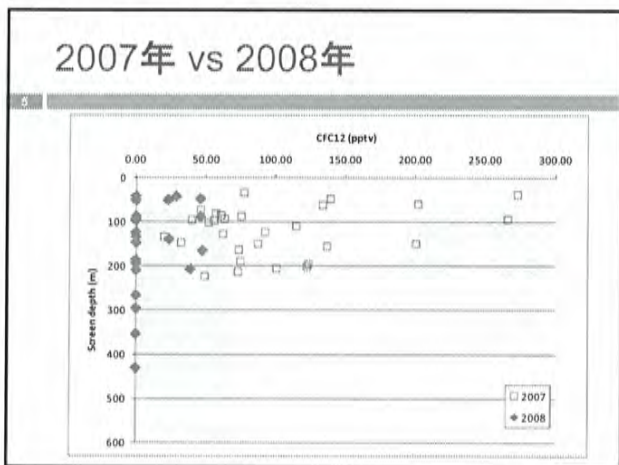
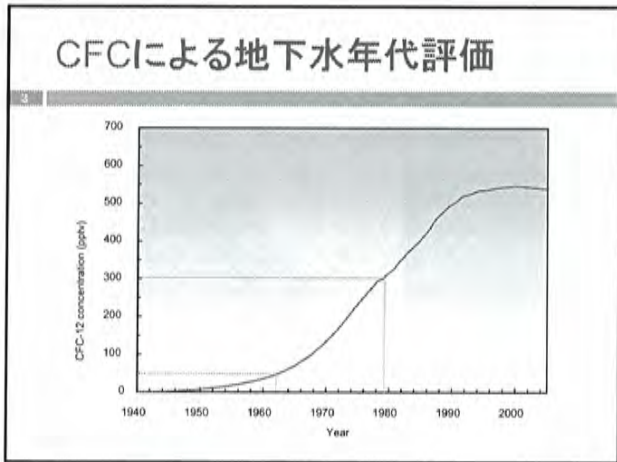


図1 バンコク首都圏における主要3帯水層（PD・NL・NB）の水収支の経年変化



### これまでの活動内容

- 2006年度
  - 現地調査 (水理水頭, 水安定同位体, 一般水質)
- 2007年度
  - 現地調査 (CFC, C14)
- 2008年度
  - 現地調査 (CFC再分析)
  - 地下水流動シミュレーション



## 7 地下水流動シミュレーション

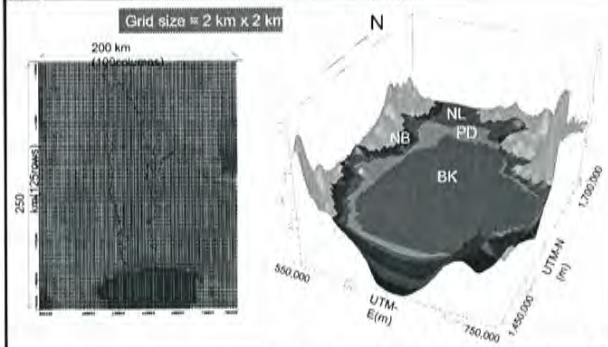
## 目的

- 都市部における過剰揚水によって地下水涵養は加速したのか？
- 加速したとすれば、どこで顕著なのか？
- どの程度のタイムスケールで地下水の入れ替えが進んでいるのか？

## 使用ソフトウェア

- Visual MODFLOW
  - 地下水流動: MODFLOW2000
  - 溶質輸送: MT3DMS
  - 流跡線解析: MODPATH
  - 領域収支解析: Zone Budget
  - 密度流を考慮した地下水流動・溶質輸送: SEAWAT

## 解析領域と格子間隔



## 利用した数値地図

- 地表面標高
  - SRTM30 (900 mメッシュ)
- 海底地形
  - ETOPO2 (3.5 kmメッシュ)

## 解析対象期間

- 1950年以前
  - 揚水なしの定常状態を想定
- 1950年～現在
  - 揚水データを与えて非定常計算

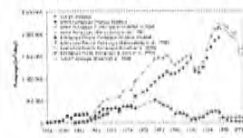


Figure 12. Groundwater Potentials in Bangkok and Surrounding Areas (Source: Jirapitak, 1978; Anonymous, 1985; Rajaratnam, 1988)

(IGES, 2007)

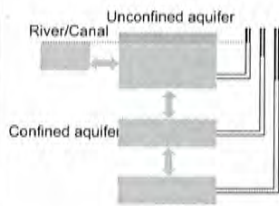




## 境界条件

13

### 定水頭境界



### 涵養速度境界



## 水理パラメータ

14

### Conductivity

$K_x/K_y=1/100$

	BC	BK	PD	NL	NB	SK	PT	TB	PN
$K_x, K_y$	4.75E-10	1.59E-4	2.06E-4	1.86E-4	1.98E-4	1.86E-4	1.25E-4	1.16E-4	2.03E-4
$K_z$	4.75E-10	1.59E-6	2.06E-6	1.86E-6	1.98E-6	1.86E-6	1.25E-6	1.16E-6	2.03E-6

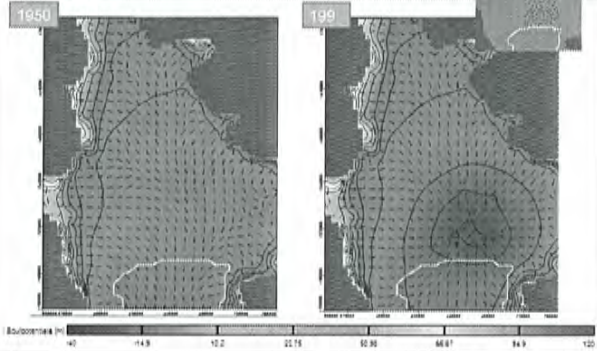
### Specific Storage

BC : 0.00675 (1/m)

Other than BC : 0.001/thickness (1/m)

## 側方流動 (NL)

15



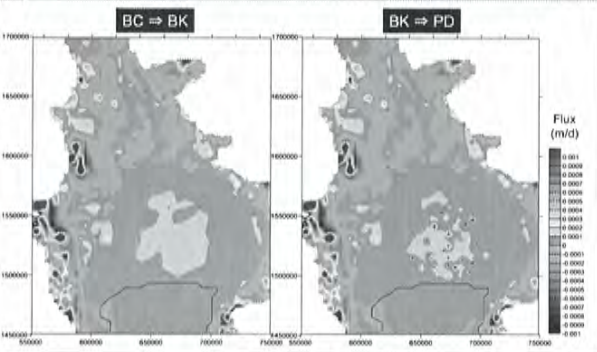
## 計算値と実測値の比較

16



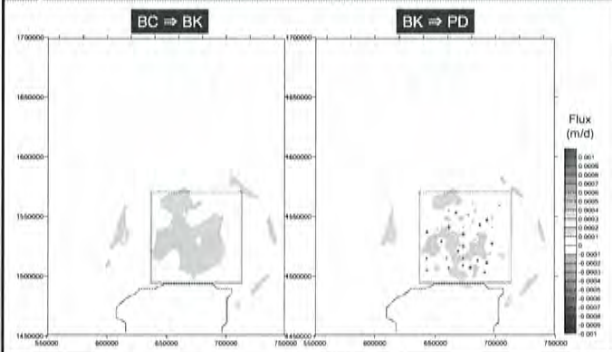
## 鉛直流動 (1992)

17

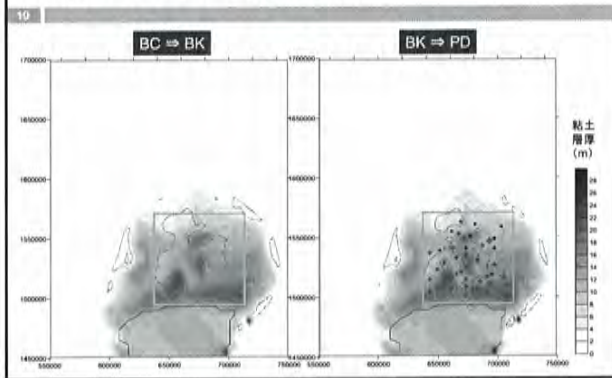


## 鉛直流動 (1992-1950)

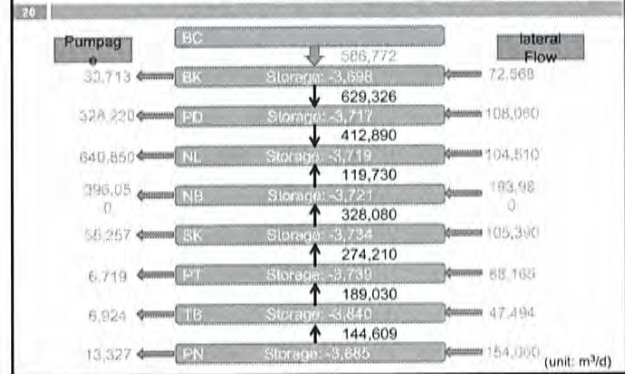
18



### 粘土層厚との関連性

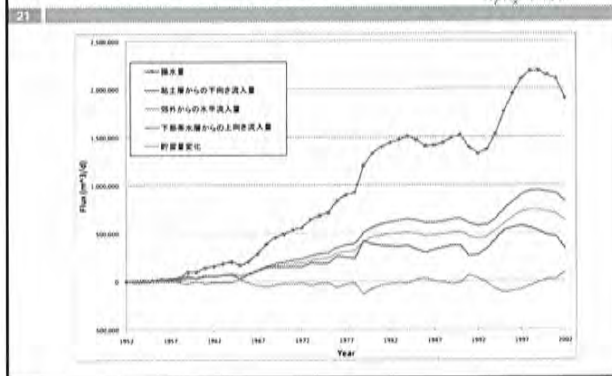


### 都心部地下水収支の詳細(1992)



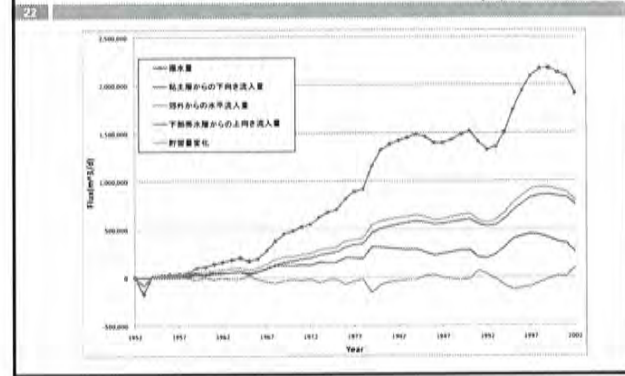
### 都心部地下水収支の経年変化

$K_1/K_2=1/100$



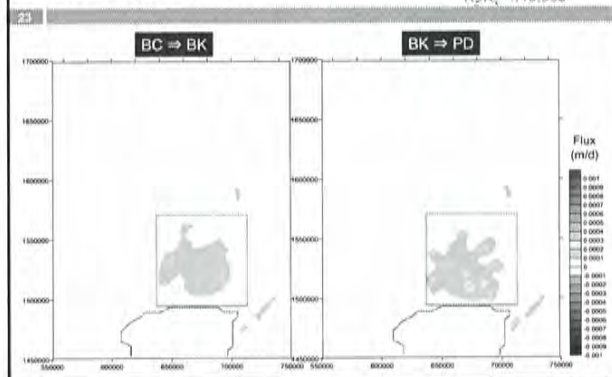
### 都心部地下水収支の経年変化

$K_1/K_2=1/10,000$



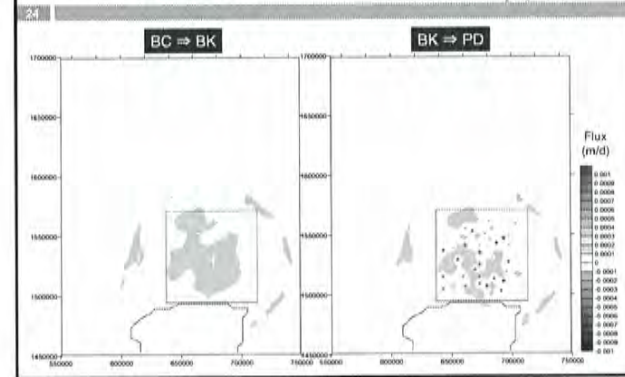
### 鉛直流動 (1992-1950)

$K_1/K_2=1/10,000$

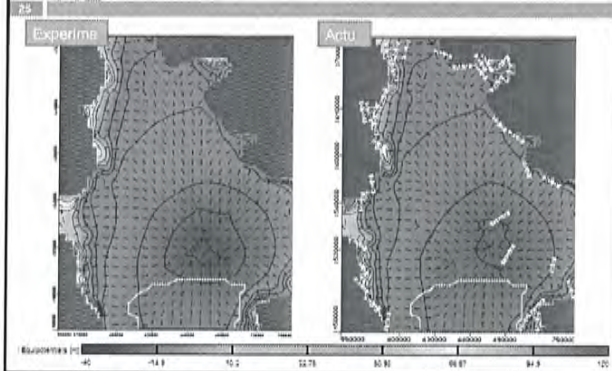


### 鉛直流動 (1992-1950)

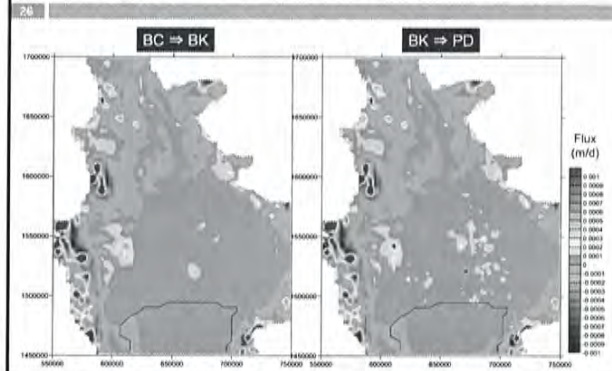
$K_1/K_2=1/100$



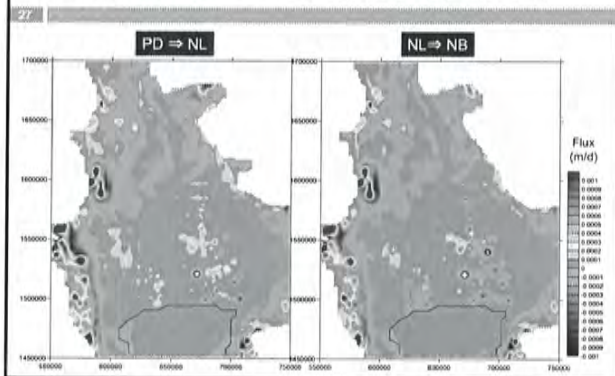
## 実揚水量による計算：側方流動 NL



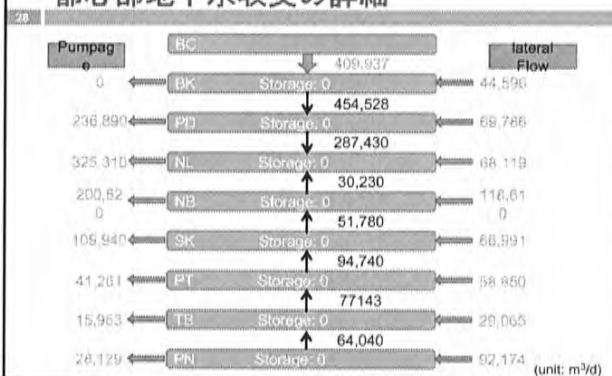
## 実揚水量による計算：鉛直流動



## 実揚水量による計算：鉛直流動



## 実揚水量による計算： 都心部地下水収支の詳細



## 今年度残りの予定

- 29
- 実揚水データを用いた非定常シミュレーション
  - 水理パラメータ分布のキャリブレーション
  - 感度分析・流跡線解析
    - 透水性の異方性
    - 粘土層厚分布
    - 揚水密度
  - Cl輸送解析
    - 海水侵入

## 来年度の予定

- 30
- CFC分布のシミュレーション
    - Modern GW (<50 year)のトレーシング
  - H-2, O-18, C-14分布のシミュレーション
    - 万年スケールの広域地下水循環トレーシング
    - 流動経路情報を加味したCal/Val

## 関東平野地下水流動モデルの改良と涵養量変遷の推定

愛知正温 (東京大学)・徳永朋祥 (東京大学)

著者らはこれまで、東京およびその周辺地域における地下水利用の時空間変化が、地下水流動および地下水涵養プロセスに与えた影響を評価するために、関東平野の地下水流動シミュレーションを行ってきた。本研究では、水理地質構造の詳細化、揚水量統計データの追加および帯水層物性の見直しによって従来のモデルの改良を行い、改良したモデルを用いた再現解析によって関東平野における涵養量変遷の推定を行った。

モデルの改良の結果、地下水ポテンシャルの再現性が全体的に向上した。また、主要な地下水涵養域は、地下水利用の多い地域に近接する台地域で、地下水利用の中心が都心部から離れるのに伴い、主要な涵養域も移動していたことが示された。また、地下水揚水がほとんどない時期の涵養量は、武蔵野台地や下総台地では 1-3mm/day 程度、大宮大地や常総台地では 1mm/day 以下であったのに対し、地下水利用の多い時期の涵養量は、武蔵野台地や下総台地では 3-5mm/day 程度、大宮大地や常総台地では 1-5mm/day に増加していたことが解析の結果から示された。

### Estimation of the spatio-temporal transition of groundwater recharge by the improved groundwater flow model in the Kanto Plain, Japan

Masaatsu Aichi (Univ. Tokyo), Tomochika Tokunaga (Univ. Tokyo)

In order to reveal the impact of temporal and spatial change of groundwater extraction on groundwater flow and recharge, the authors have been developing a numerical groundwater flow model for the Kanto Plain so far. In this study, the groundwater model for the Kanto Plain was improved by refining hydrogeological structures, collecting records of groundwater extraction, and modifying the aquifer parameters. Then, the spatio-temporal change of the groundwater recharge was estimated from the improved groundwater model.

The reproducibility of hydraulic potentials by the improved model became much better than those by the previous model. The results of our simulation showed that the recharge areas have moved in accordance with the movement of the area of heavy groundwater extraction. The recharge rates when the groundwater extraction was ignorably small were estimated to be 1-3mm/day at the Musashino Upland and Shimosa Upland and less than 1mm/day at the Omiya Upland and the Joso Upland. On the other hand, those when the groundwater extraction was heavy were estimated to be 3-5mm/day at the Musashino Upland and Shimosa Upland and 1-5mm/day at the Omiya Upland and the Joso Upland.

## ジャカルタ地域における地下水の滞留時間の検討

熊本大学大学院自然科学研究科 利部 慎

### Groundwater residence time in Jakarta, Indonesia

Makoto Kagabu (Graduate school of Science and Technology, Kumamoto Univ.)

地下水の滞留時間を推定することは、地下水の流動状況や物質循環を理解する上で重要である。近年、トリチウムによる年代推定は、その濃度が自然レベル程度に低下したこともあり、感度が低下している。それに代わる新しい年代推定法として提案された CFCs を用いて、ジャカルタ地域における地下水の滞留時間を推定した。また、より長期間の滞留時間を推定できる  $^{14}\text{C}$  分析用の試料も採水しているが、現在は分析中である。

#### <CFCs 濃度について>

2008 年 2~3 月にかけて、水班がジャカルタ地域 (Bogor も含む) で採水を行い、CFCs 分析用の試料水を 26 地点から得た。分析結果からピストン輸送モデルにより得られた滞留時間 (以下、CFCs 年齢(年)) を導いた。山岳地域において CFCs 年齢は、1 つの井戸を除いて 20 年から 27 年を示した。採水地点中で最も標高の高い湧水 (1455m) では、CFCs 年齢が 22 年を示した。この湧水に関して、CFCs 年齢が 22 年に対し、予想される涵養域と湧出地点の距離が 10km 以内であることを考慮すると、火山体中において大きな流動経路を有していることが考えられる。

沿岸地域における全 21 本の井戸中で、浅層地下水 (深度 60m 以浅) の CFCs 年齢は 20 年以内、深層地下水 (深度 60m 以深) では 40 年以上という結果が得られた (ただし計 4 本の井戸を除く)。また、井戸深度の増加に伴って、CFCs 年齢が増加するという傾向がみられ、これは GEYH and SÖFNER (1989) が  $^{14}\text{C}$  を用いて地下水の滞留時間を考察した結果と同様の傾向である。

#### < $^{14}\text{C}$ 分析について>

2008 年 2~3 月に、 $^{14}\text{C}$  分析用の試料をジャカルタ地域の 33 地点から採水した。現在、名古屋大学・年代測定総合研究センターにて測定中である。 $^{14}\text{C}$  分析に関しては、GEYH and SÖFNER (1989) が 1985 年に採水した地下水について行っており、当時から約 23 年が経過した今回の分析結果を比較することで、市街地部での過剰揚水など、人為的な影響をみることができると考えられる。

Nowadays tritium concentration becomes almost natural level. This makes less sensibility to date young groundwater age, so that CFCs has replaced tritium method as effective dating tool.

We collected groundwater samples on February to March 2008 in Jakarta area for CFCs (26 points) and  $^{14}\text{C}$  (33 points) analysis. In the mountain area, CFCs ages were evaluated ranging from 20 to 27 years except for one well. CFCs age of the spring sample collected from the highest elevation (1455m) showed 22 years. Considering the distance between sampling point and the estimate recharge area is within 10 km, it has the possibility that the volcanic mountain has big groundwater flow system.

In the coastal area, CFCs ages are within 20 years in shallow wells (up to 60m depth) and over 40 years in deep wells (bellow 60m) except four wells. This CFCs age result indicates that the groundwater age becomes older with increasing depth. Similar tendency was also observed by GEYH and SÖFNER (1989) using  $^{14}\text{C}$  age.

Samples for  $^{14}\text{C}$  analysis are now under analyzing. The result will show the anthropogenic effects.

## 重力班研究の概要

京都大学大学院理学研究科 福田洋一

重力班では、主に、1) GRACE による衛星重力データと陸水モデルデータの解析によるやや広域の陸水貯留量変動の検出・モデル化を目指した研究、2) バンコク、ジャカルタを対象とした陸上での精密重力測定とGPS測定による地下水・地盤沈下モニターを目指した研究を実施している。以下、これらの概要について報告する。

### 1. GRACE および陸水モデル

GRACE および陸水モデルを利用した広域陸水貯留量変動に関する研究については、主に、陸水の季節変動シグナルの大きいバンコクを含むインドシナ半島において、GRACE による季節変動信号の検出と陸水貯留量モデルとの比較に重点をおいた研究を進めてきた。

今年度は、これらの成果を踏まえ、

- (1) 世界の主要河川での GRACE データと陸水モデルの比較 (山本)
- (2) 2006 年オーストラリア大旱魃に関連した GRACE データと陸水モデルの比較 (長谷川)
- (3) JRA-25 の水文変数の季節変化再現性 (仲江川)

に関する研究を実施している (括弧内は主たる研究担当者)。

(1) では、モデルと GRACE データから得られる陸水変動の季節変動 (年周) 成分について、世界の主要な河川流域で、その振幅と位相の比較を行った。陸水変動のうち季節変動成分は、シグナルが大きく、一般的には GRACE とモデルとは良い一致を示している。しかし、振幅において低緯度でモデルに比べ GRACE の振幅が大きくなるなど、顕著な差を示す部分もみられ、モデル、データの両面から、その原因は検討する必要がある。

(2) は、2006 年のオーストラリア南東部における歴史的な大旱魃による陸水変動の検出を行ったものであるが、その重要な目的の一つは、陸水の年々変動が、GRACE データとモデルとでどのように捕えられるかを確認することにある。これは、地下環境変動と関連した陸水変動モニタリング、あるいは長期的な水資源管理にとって欠かせない重要な課題である。本研究では、GRACE データと陸水モデルの比較を行うとともに、他の地上データとの比較もあわせて検討したところ、陸水モデルでの 2006 年の旱魃時の変動シグナルが GRACE に比べ小さく、モデルでは変動が正しく再現できていない可能性を示している。モデルでの年々変動の再現は困難な問題でもあり、その検証を目的とした GRACE の利用に期待が持たれる。

一方、上記の不一致の原因を追求する上でも、陸水モデル構築の立場から、データの再現性を確認する必要がある。そこで、(3) では、JRA-25 の陸面解析から得られる水文変数 (土壌水分量、河川流量、陸水総貯留量) の季節変化再現性について調べた。このうち、陸水総貯留量は多くの流域で相関が高く、季節変化が良く再現されており、JRA-25 を用いた水文量の再現性は、従来用いられていた GANAL と比較して、どの要素をとっても高くなっていることが示された。

GRACE データが比較的大規模な陸水変動のモニターに有用であることに疑いはないが、現状の GRACE データの空間分解能は、せいぜい 300~400km 程度であり、それを都市スケールでの現象にどのようにつなげて行くかは大きな課題である。このためには、両者の間を埋

めるモデルの開発とともに、新たな観測手法の利用も重要である。その一つの可能性として衛星高度計データによる河川あるいは湖沼の水面変動のモニターが挙げられる。本年度、アフリカのビクトリア湖などでテスト的な解析を行った。

## 2. 地上での精密重力測定

精密重力測定の繰り返しによる都市域での地下水変動ならびに地盤変動のモニターは重力班の最も重要な課題の一つである。昨年度までは、測定点の選点、都市ノイズの確認、地下基盤構造の推定などを目的とした予察的な重力・GPS測定を実施してきたが、昨年12月に野外測定用絶対重力計(A10)が導入され、その後、国内での試験観測を実施し、本年、8月下旬から9月上旬にかけて、ジャカルタでの初の観測を実施した。以下、その概要である。なお、A10による測定には、主に、西島、福田、長谷川が担当し、さらに、九州大学および京都大学のスタッフ、学生の参加・協力を得た。

A10が我が国に導入されるのは2例目であり、納入直後のトレーニング後、九州大学に移送し、測定の習熟と重力計の特性調査を兼ねた室内測定を継続実施した。その後、2月下旬におよび4月下旬の2回、大分県九重町の九州電力滝上発電所周辺での野外測定を行った。これは、同発電所での生産井メンテナンスのため、4月上旬に約2週間の生産・還元が休止されており、それに伴う重力変化の検出を目指したものである。これらの測定では、野外現場測定に関する多くのノウハウを蓄積するとともに、2回の測定の比較から、生産・還元の休止に伴って予想される重力変化と調和的な結果を得た。

これら国内での測定の結果を総合すると、基本的にA10による野外測定での大きな問題はなく、京都大学の絶対重力点での測定結果などからも重力絶対値に関する公証精度である $10\mu\text{gal}$  ( $100\text{nm}/\text{sec}^2$ )は達成されていると判断できた。また、比較的短時間の再現性では、数 $\mu\text{gal}$ 程度のより高い精度が得られているようであり、例えば、実験室での測定では、降雨とその後の重力変化が観測されているような例も認められた。

国内での良好なテスト測定の結果を受け、8月下旬よりジャカルタでの測定を実施したが、残念ながら幾つかのトラブルのため、当初予定していたすべての測定を終えることはできず、ジャカルタでの絶対重力測定としては、3点のみの測定に留まった。絶対重力計では高真空の落下槽内を自由落下する物体の加速度を測定することで重力値を得るが、主なトラブルとして、落下槽の真空維持が困難であったことが挙げられる。この点に関して、メーカーと連絡をとったところ、落下槽の高真空を維持するため使用されているイオンポンプに問題があった可能性が高い。しかし、イオンポンプは高温の環境で能力が低下する可能性もあることから、今後、国内で、さらに検討の予定である。

なお、精密重力測定では、絶対値を決める絶対測定とより簡便な相対測定を組み合わせた測定を実施するが、シントレックス重力計を使用した相対重力測定では、約10点程度の測定を実施しており、来年度以降の重力変化検出のための基礎的なデータは得られている。また、地盤変動の検出を目的としたGPS測定は、昨年同様、バンドン工科大学によって実施されている。さらに、バンドン、スマランでも同様の測定を実施した。

今後のA10での測定については、上記の技術的な問題点を解決した後、国内では大阪、熊本、九重での測定を計画しており、また、来年2月～3月にバンコクでの最初の測定を実施する予定である。

## 重カグループ概要

地球研地下環境プロジェクト全体会議  
2008年11月10日  
茨城県土浦市国民宿舎水郷

福田洋一(京大院理)



- 福田: 全体概要、ジャカルタ地盤沈下
- 西島: A10絶対重力計による野外測定  
国内、インドネシア
- 山本: GRACEによる陸水総貯留量変動
- 仲江川(山本):  
陸水総貯留量推定に用いている日本再解析  
(JRA-25)の水文変数の季節変化再現性

2

## 2008(H20)年度研究計画

- フィールド調査
  - ジャカルタ
    - 5月12-14 打ち合わせ (ITB Hasanuddin)
    - 8~9月頃、A10観測(~10日)、相対重力、GPS(ITB)
    - Bandon, Semarangの地盤沈下(科研費)
  - バンコク
    - 秋以降、打ち合わせ、選点
    - 2009年2~3月に選点、テスト観測(~10日)
  - 国内観測
    - 地熱(滝上) 2008.2, 4, 6, 10-11月
    - 熊本(地下水) 2008.10-11, 2009.春
    - 大阪
- 衛星データ処理
  - GRACE継続実施、高度計データの利用
  - 陸水モデルの検証

3

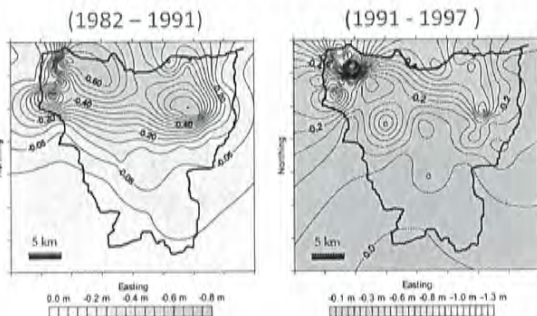
## ジャカルタの地盤沈下



- 要因
  - 地下水の過剰揚水
  - 建造物等の荷重による沈下
  - 堆積層の硬化・圧密
  - テクトニクス
- 水準測量
  - 1926-27の観測で既に指摘あり
  - 1982,1991,1997に測定、15年間で最大2m

4

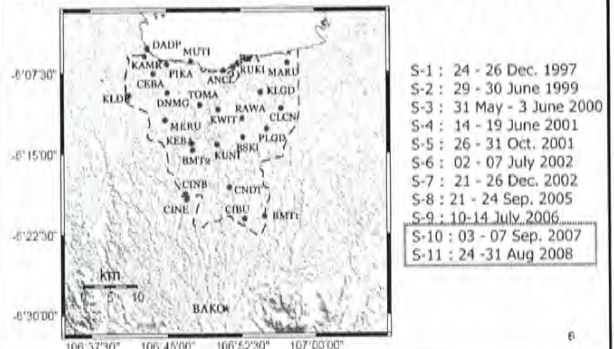
## 水準測量により得られた地盤沈下



5

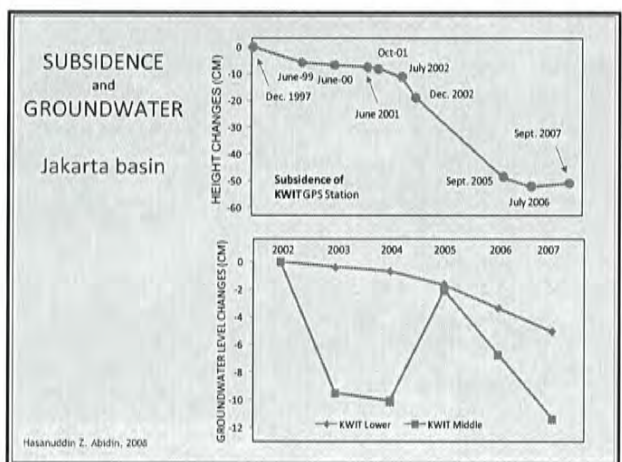
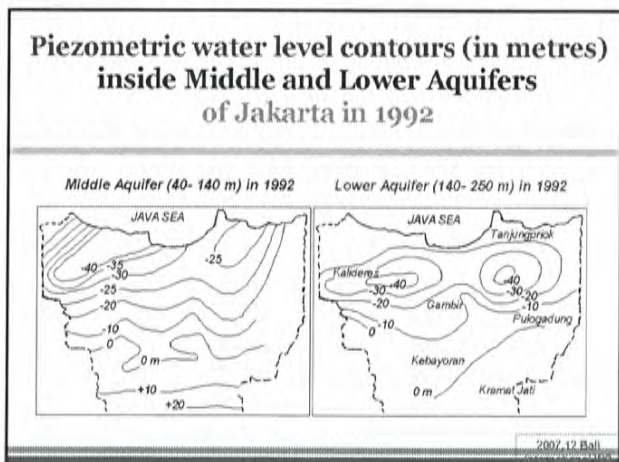
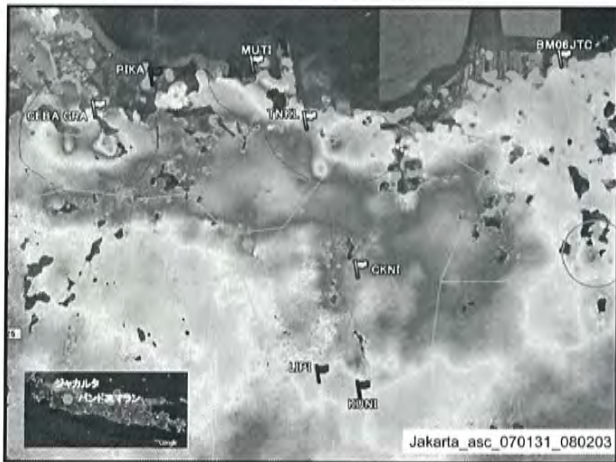
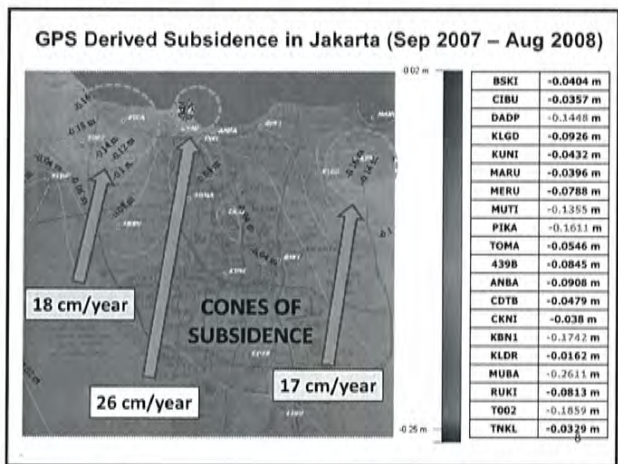
Hasanuddin Z. Abidin, 2003

## GPS Network for Land Subsidence Monitoring in Jakarta



6







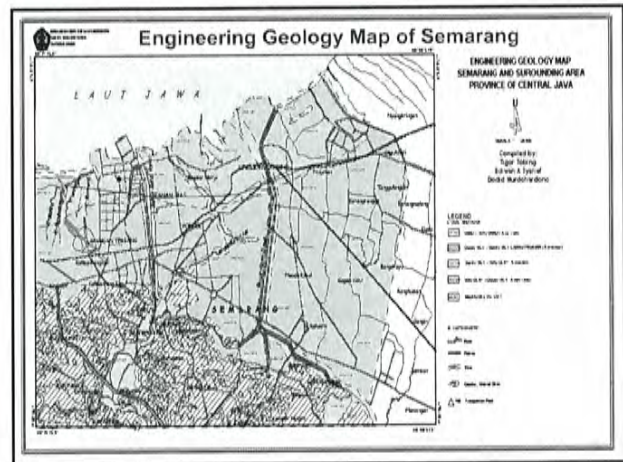
## Semarang

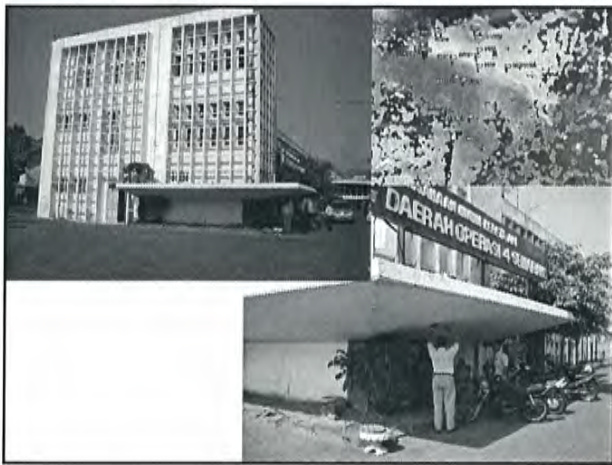
Indonesia

Java island

- Capital of Central Java province
- Population : about 1.4 million (2008)
- Location : North coast of Central Java region
- Coordinates : 6° 30' S and 110° 35' E.
- Area : 373,7 Km2.

Hasanudin Z. Abidin (2009)





**バンドンの重力変化**

- 2002年11月(FG5)  
977976701.2  $\mu$  gal
- 2008年9月(A10暫定値)  
977976742.4\*  $\mu$  gal  
(\*シントレックスで結合)

6年間に約40  $\mu$  galの増加  
約2~3cm/yの沈降

**A-10 results**

Station	Q ( $\mu$ gal)	Set Scat.	Precision	Uncertainty	Accepted
LIPJ-Jakarta	978,139,851.15	4.14	1.31	10.62	995
KUNI	978,140,173.44	14.67	4.64	11.51	999
PIGA	978,149,351.59	10.80	3.42	11.08	994
LIPJ-GS	977,965,167.97	16.74	7.48	12.92	500
LIPJ-GS	977,965,178.14	0.00	0.00	10.54	200
LIPJ-GS	977,965,175.22	0.00	0.00	10.54	200
BNGI	978,011,085.22	19.11	6.37	12.31	878
CMH2	978,007,851.60	23.75	7.51	12.94	998
OPRY2	978,013,330.40	23.62	7.47	12.90	998
GEOM	977,976,152.63	4.60	1.46	10.64	995
ITB1	977,969,684.53	5.47	1.82	10.69	998
ITB1	977,969,685.07	5.69	2.01	10.73	799
ITB1	977,969,680.61	8.09	2.56	10.84	998
SMG1	978,069,579.36	2.94	0.93	10.58	995
BMG-ENT	978,117,262.10	26.74	9.09	13.92	998
Kuju Station	979,354,909.23	2.98	1.49	10.64	995
T26	979,418,653.17	4.10	1.30	10.62	997
T26	979,418,684.20	6.71	2.12	10.77	978

観測値がないため、数値モデルによって算定された陸水総貯留量は、GRACEによる流域毎の陸水総貯留量の推定に必要であると同時に、GRACE陸水総貯留量の検証にも利用される(Fukuda et al. 2008)。従って、GRACEによる陸水総貯留量推定に用いるに足る十分な精度があるか、モデル陸水総貯留量の推定値はもちろんのこと、モデル推定時に用いているデータの再現性を評価する必要がある。昨年度は、河川流速のチューニング、地下水層の導入を行い、モデル陸水総貯留量の再現性の向上に努めた。そこで本研究は、現在、我々がモデル陸水総貯留量推定時に用いているデータ、日本再解析(JRA-25)の陸面解析から得られる水文変数(土壌水分量、河川流量、陸水総貯留量)の季節変化再現性について調べた。

土壌水分量の季節変化は非常に良く再現されている。但し、中央アジア南部( $55^{\circ}\text{E}-80^{\circ}\text{E}$ ,  $35^{\circ}\text{N}-45^{\circ}\text{N}$ )とバイカル湖東側、 $120^{\circ}\text{E}$ に沿った中国東部では複数地点で負の相関が見られる。コラ半島付け根にもひとつ、負の地点が見られる。図は省略するが、アメリカ地域ではイリノイの土壌水分量は再現性が高いが、アイオワではほぼ0で相関が無いという対照的な結果である。イリノイでは、他の解析値と比較しても、年々変動が良く再現されていることが確認されている(Onogi et al. 2007)が、この解析でも同様の結果が得られた。

河川流量については、位相差0でラグ相関係数が最大値となるように流速をチューニングしているので、殆どの流域で、位相差は0で、季節変化の相関係数は高い。振幅の再現性は、あまり良くない。基本的には、降水量の再現性が悪い流域、加えてチューニングの結果、流速が小さすぎる流域で、河川流量の再現性が悪くなっている。

陸水総貯留量は多くの流域で相関が高く、季節変化が良く再現されている。しかし、アフリカのコンゴ川、ナイル川、北半球中高緯度河川では相関が低い。陸水総貯留量の振幅は、全般的に再現性は良い。しかし、振幅が小さい地域として、シベリア、北アメリカ北部、アフリカ熱帯西部を挙げることができる。一方、インド以東のアジアモンスーン地域では振幅が大きい。年降水量が観測に比較して、全ての流域で誤差は $\pm 20\%$ 前後程度であったので、振幅比が過小、過大な流域では、降水量ではなく、陸面過程の再現性に主原因がある筈である。また、Yamamoto et al. (2007)で使ったGANALを用いた水文学量の再現性と比較しても、どの要素をとっても、Fukuda et al. (2008)で使ったJRA-25を用いた水文学量の再現性は、全体として高くなっていた。

## 陸水総貯留量の算定に用いている JRA-25の水文量の季節変化再現性

重力班 気象研 仲江川敏之

### 本日の話題

1. この1年間の研究
2. 再現性の比較

## 今年行ったこと

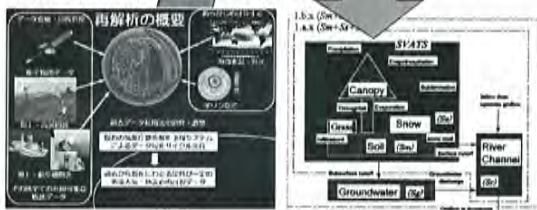
目覚ましい進展はありません

- 再解析データ(JRA-25)に不備が見つかり、再計算が行われたので、それに伴い、陸水総貯留量の再計算の実行
- 準リアルタイム(翌月上旬)で陸水総量を計算するシステム構築(半自動)
- 昨年の全体会議で速報結果だけお見せした、結果の解析

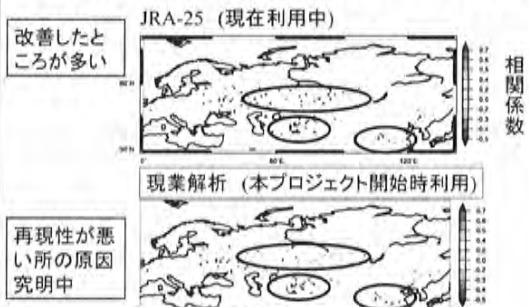
今日の話題

## 陸水総貯留量推定システム

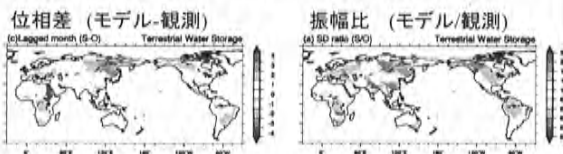
日本再解析: JRA-25



## 土壌水分量季節変化再現性



## 陸水総貯留量の再現性



河川流量		陸水総貯留量	
改善	悪化	改善	悪化

全ての流域ではないが、多くの流域で、陸水総貯留量は振幅、相関係数、位相差が、改善している

位相	56	4	18	7
----	----	---	----	---

## まとめ

- 陸水総貯留量の算定に用いているJRA-25の水文量の季節変化再現性評価を行ったところ、土壌水分、河川流量、陸水総貯留量は、現業解析の結果よりも、再現性が高い

### 今後の課題

- 陸面水文モデラー側に立った、GRACEで得られた陸水総貯留量とモデルの比較

## A10型絶対重力計国内テストおよび ジャカルタ現地調査概要

西島 潤 (九州大学大学院)  
福田洋一・長谷川 崇 (京都大学大学院)

## 本研究の背景・目的



## 調査内容

- ◆ A10絶対重力計の国内テスト
- ◆ ジャカルタ現地調査  
(GPS・絶対重力測定・相対重力測定)

## A10型絶対重力計概要

## A10-017絶対重力計 (Micro-g LaCoste Inc.) (2007年12月導入)

### 特徴

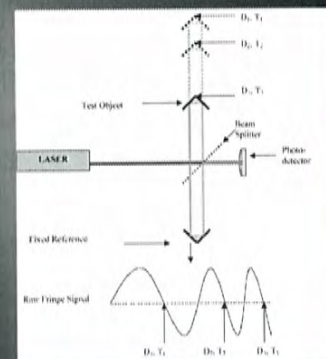
- ◆ バッテリー駆動可能 (野外測定可能)
- ◆ FG-5に比べてコンパクト
- ◆ 精度 10 $\mu$ gal
- ◆ 使用可能温度：  
-15 $\sim$ 40 $^{\circ}$ C
- ◆ 日本での導入は2台目



### 目的

A10-017の挙動を把握することを目的に実験室内及び野外において試験測定を行った

## A10測定原理



## 実験室内での測定

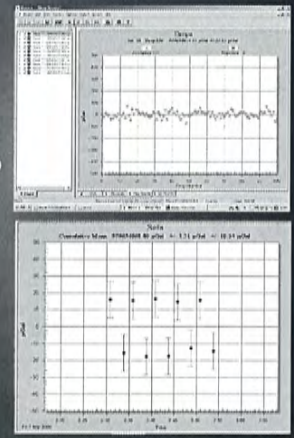
測定場所：  
 京都大学超電導重力計測定点  
 九州大学伊都キャンパス1F実験室

- チェック項目
  - A10測定重力値のチェック
  - バッテリーの持ち時間
  - 再現性
  - 重力変化

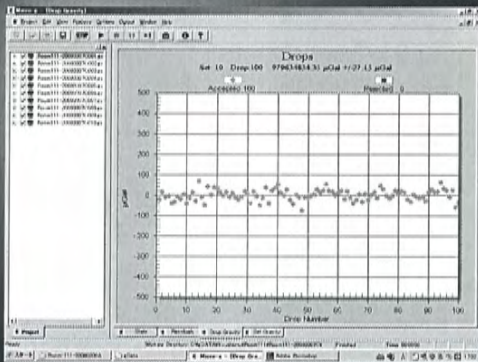
7

## 測定仕様

- Drop interval: 1 second
- Number of drops/ 1 set: 100
- Set interval: 3 minutes
- Number of set: 10

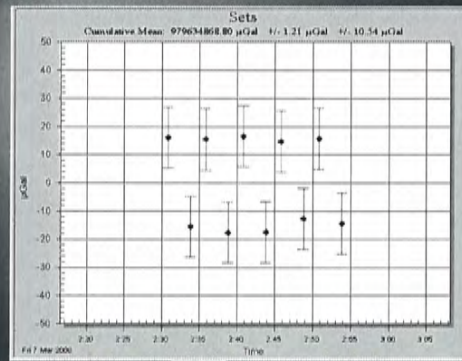


## Drop Window



9

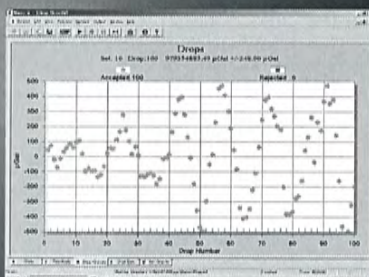
## Set Window



10

## 地震の影響と考えられるデータ

豊後水道においてM<sub>2.5</sub>の地震



11

## A10型絶対重力計国内テスト測定

12

## 京都大学超電導重力計設置点 での重力測定



A-10	979708095.35 $\mu\text{gal}$
FG-5	979708099.80 $\mu\text{gal}$

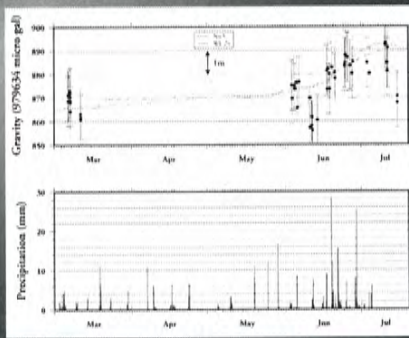
13

## 測定結果 (2008年3月~7月) 九州大学伊都キャンパス

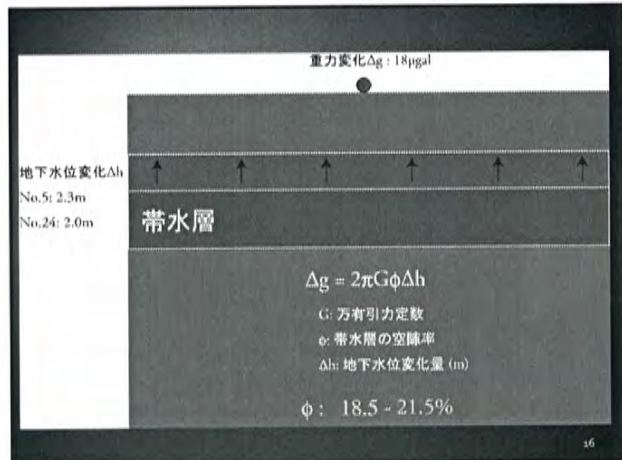


14

## 測定結果 (2008年3月~7月) 九州大学伊都キャンパス



15



16

## バッテリーの持ち時間

- 自動車用バッテリー (12V 32Ah) 1個で、約2時間30分の連続測定 (5000 drops) が可能。
- ただし、2時間20分でパソコンへの電源供給が停止。
- 野外で1日測定するためには、このバッテリーを3~4個並列に接続する必要がある。

17

## 野外測定

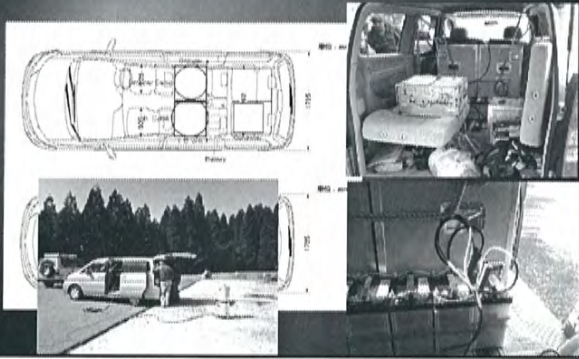
- 測定場所：  
九州電力澁上地熱発電所  
(大分県玖珠郡九重町)
- 熱水+蒸気を深さ約2500mから約1300t/h生産し発電後に残った熱水約1100t/hを地下約1600mに還元
- 2008年4月3日からメンテナンスのため約2週間生産・還元を停止



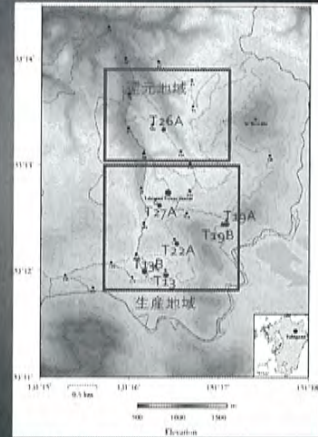
18



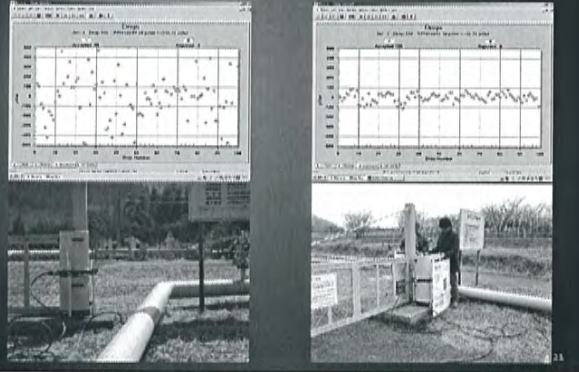
# A10型絶対重力計



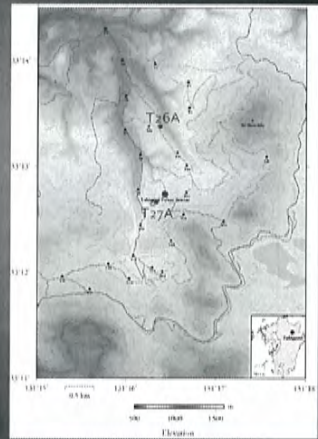
# 測定点配置図



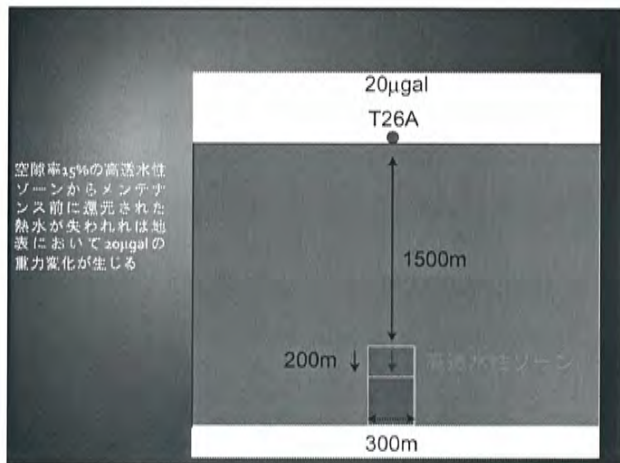
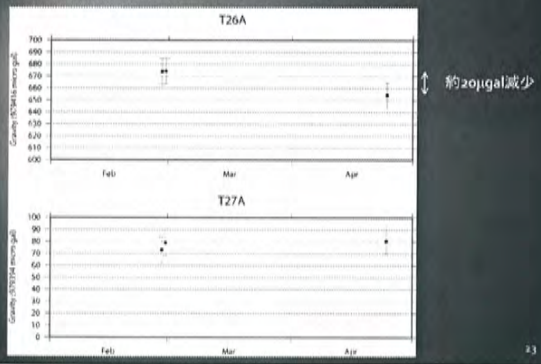
# 風の影響



# 重力変化 (2008年2月~4月)



# 重力変化 (2008年2月~4月)



## 2008年ジャカルタ現地調査

25

## 調査概要

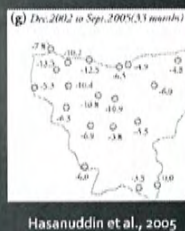
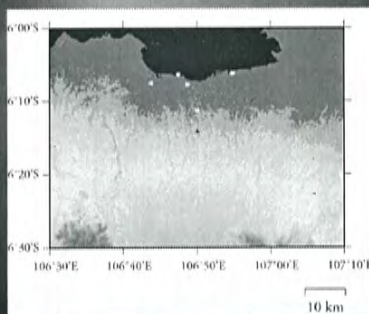
- GPSを用いた地盤沈下量測定 (ITB)
- A10絶対重力計を用いた重力測定
- Scintrex相対重力計を用いた重力測定

実施期間

2008年8月21日-31日

26

## 重力測定点



27



28

## 重力測定結果

### Scintrex重力計

Station	Gravity	Error
KUNI	978140682.03	4.28
CEBA	978148526.79	14.84
PIKA	978149617.15	16.70
MUTI	978149877.92	7.79
BMo5JTC	978143615.35	2.21
CKNI	978146130.69	8.88
TNKL	978150218.92	5.16

### A10重力計

Station	Gravity	Error
KUNI	978140482.03	11.66
PIKA	978149660.19	11.25

29

## まとめ

- 短期再現性はほぼ10μgal以内に収まる。
- 地下水位変化に引き起こされたと考えられる重力変化が観測された。
- 今後観測を継続することにより地下水位変化によって引き起こされたものかどうか評価を行う予定。
- 野外測定時には自動車用バッテリー1個当たり約2時間20分測定可能。
- 風の影響はかなり大きなノイズとなるので、野外測定時には風除けが必要。

30

## GRACE 衛星重力データによるグローバルスケール陸水モデルの検証

総合地球環境学研究所 山本圭香

衛星重力ミッション GRACE から得られる 1 か月ごとの地球重力場解から、地表および地球内部の質量の時間変化を知ることが可能であり、本プロジェクトでは、GRACE データと地上観測データを組み合わせることにより、プロジェクト対象地域の地下水変動を明らかにすることを目的としている。

GRACE データと数値モデルによるグローバルな陸水データの比較は、GRACE によって得られる流域スケールの質量変化の妥当性の検証のために重要である。現行の多くの陸水モデルは、おおむね GRACE と良い相関を示すことが報告されているが、より小さなスケールに関しては、必ずしも両者の振幅、位相は一致しているとはいえない流域もある。そこで本研究では、どの程度 GRACE データと陸水モデルデータが異なるかをグローバルなスケールで把握するため、GRACE 衛星重力データを用い、JRA-25 の再解析データを駆動力とした JRA-JCDAS LDA and GRiveT (JLG) Terrestrial Water Storage Model から得られた、土壌水分、積雪、河道貯留量および地下水の 4 成分からなる陸水モデルデータの検証をおこなった。世界の主要 70 河川流域に対して GRACE による陸水の質量変動の見積もりをおこない、その年周成分に対してモデルとの相関を調べた。また、従来グローバルな陸水モデルの改良のために有効とされてきた大気結合水収支法による陸水総貯留量と GRACE による見積もりとの比較もおこなった。その結果、年周成分の位相差に関しては、多くの河川流域でモデルと GRACE データが良い相関を示しているが、アラスカ、シベリア東部などで 1-2 ヶ月の位相差が見られた。年周成分の振幅に関しては、中高緯度の地域に対しては、モデルと GRACE データは良い相関を示したが、低緯度地域の河川流域については、モデルと比べ、GRACE の振幅が約 1.5 から 3 倍大きかった。現段階ではその正確な原因は不明であるが、低緯度地域のモデルが何らかの成分を十分に考慮していないこと、あるいは GRACE の長波長域の系統的な誤差などが可能性として考えられる。

# GRACEデータ解析

重力班

地球研 山本圭香

京大院理 長谷川崇・福田洋一

1

昨年度まで  
インドシナ半島主要河川流域におけるGRACEとモデル  
データとの比較  
(主に位相差に注目)

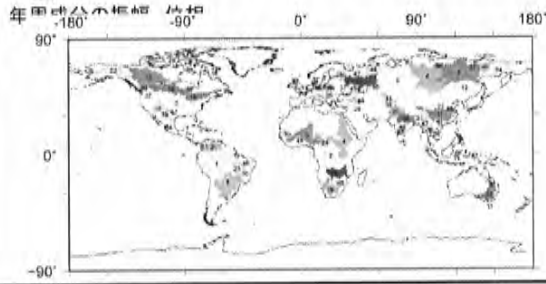
本年度

1. 世界主要河川流域でのGRACEデータとモデルの比較
2. GRACEデータと地上重力観測データの比較

2

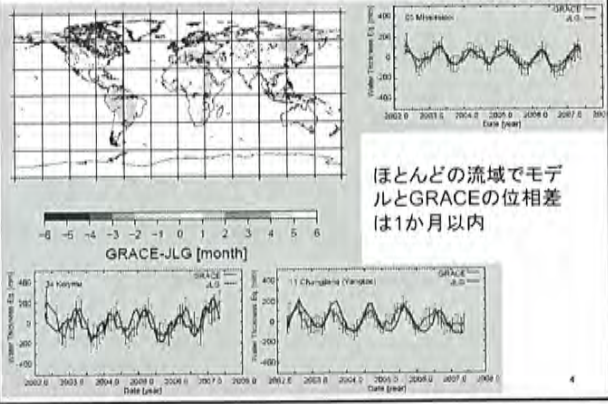
## 1. 世界の主要70河川流域において GRACEからの質量変動と陸域貯留量モデルの比較

GRACE-Level 2 monthly gravity field solution  
Model- JRA-JCDAS LDA and GRIVeT (JLG) model (Nakaegawa et al.)



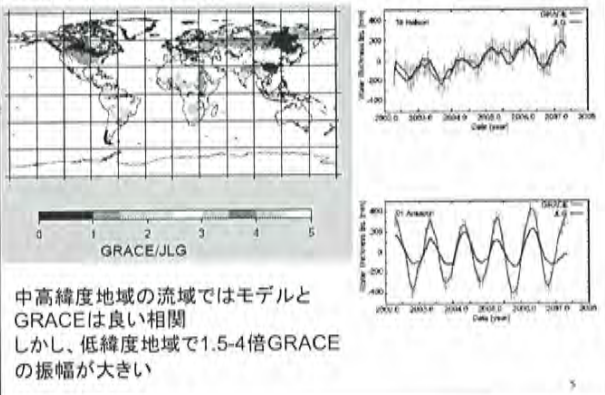
3

## 年周成分の位相の比較



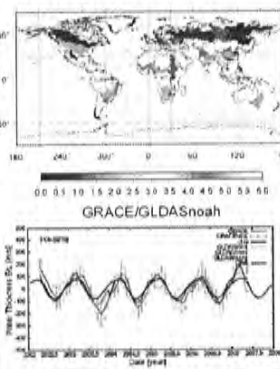
4

## 年周成分の振幅の比較

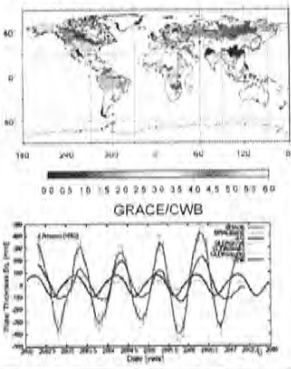


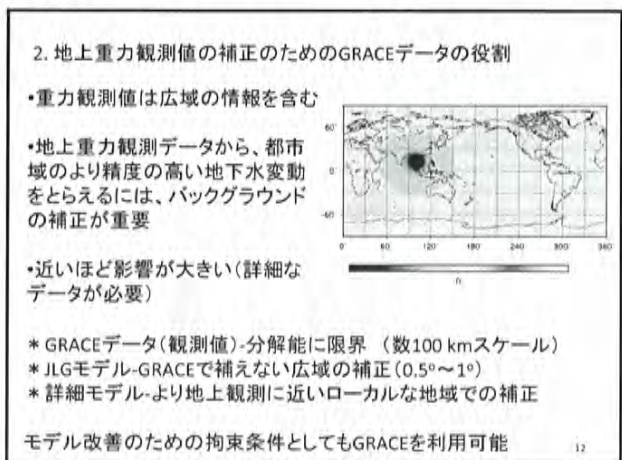
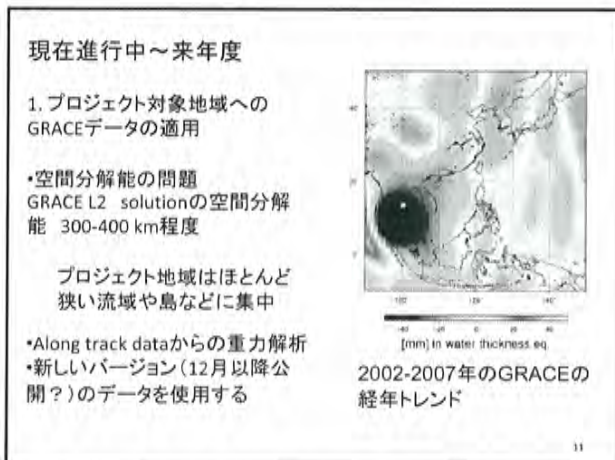
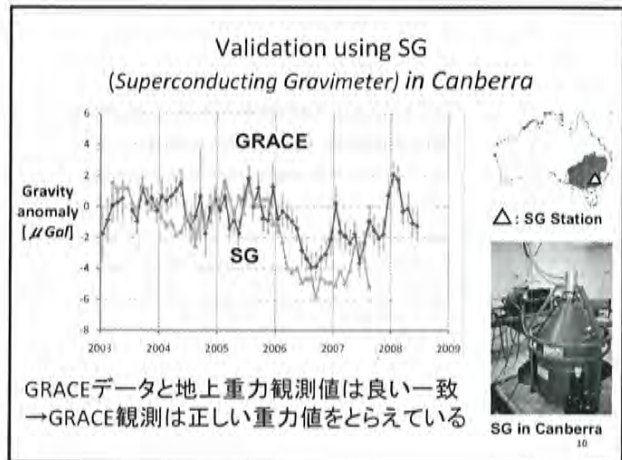
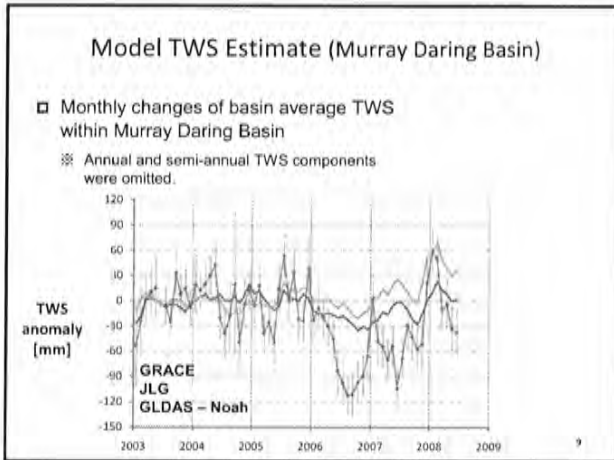
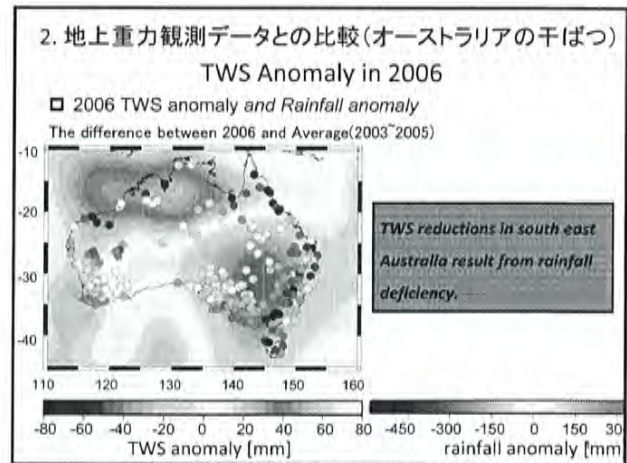
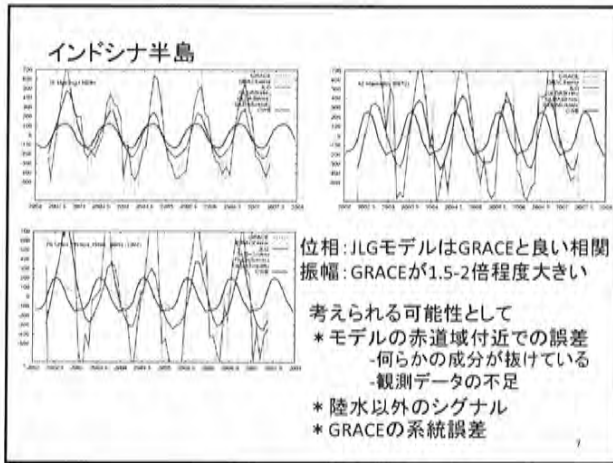
5

## GRACEとGLDAS (NOAH)モデルとの比較



## GRACEと大気結合水収支法との比較





GRACE データを用いた 2006 年オーストラリア大旱魃による陸水変動のモニタリング  
長谷川崇、 福田洋一（京都大学大学院理学研究科）  
仲江川敏之（気象研究所）、 山本圭香（総合地球環境学研究所）

2006 年、オーストラリア南東部を中心に歴史的な大旱魃が起きた。本研究では、この旱魃によって生じた陸水変化を重力観測衛星 GRACE のデータから復元し、陸水モデルと比較した。

GRACE は数 100km の空間スケールの重力場を約 1 カ月の時間分解能で観測できる。重力の時間変化は地球の質量再配分を反映するため、GRACE データから陸水総貯留量の変化を求めることができる。GRACE データは既に多くの陸水研究に応用されてきた。しかし、そのほとんどは陸水の季節変化に関するものであり、経年変化に関する研究はほとんど行われていない。一方、モデルによる長期的な陸水変化の推定には大きな不確実性があるため、観測結果との比較、検証は重要な課題である。そこで、本研究では、旱魃によって生じた経年的な陸水変動に関して GRACE データと陸水モデルを比較した。

GRACE データの解析では、マレー・ダーリング川流域に対し最適リージョナルフィルターを設計して陸水変化を復元した。さらに、地上降雨観測データとキャンベラの超電導重力計のデータを用いて GRACE データの検証を行った。陸水モデルは、NASA が公開する GLDAS モデルと気象庁の JLG モデルの 2 種類を使用した。

解析の結果、GRACE データはオーストラリアの南東部で 2006 年に陸水貯留量が顕著に減少していることを示した。GRACE データが示した 2006 年の陸水量の減少の空間的、時間的な特徴は、地上の降雨観測データと非常によい相関を示した。さらに、陸水変化の振幅に関しても地上の重力観測データと調和的な結果を示した。しかし、GRACE データをモデルと比較すると、モデルが推定した 2006 年の陸水の減少量は GRACE の観測値の約半分であった。このことから、モデルは旱魃による陸水の減少量を過小評価していることがわかった。

モデルが旱魃による陸水の減少量を過小評価した原因には、モデルが使用した陸面モデルや気象データの誤差に加え、モデルが考慮していない地下水の変動などが考えられる。GRACE データからモデルの個々の誤差要因を明らかにすることはできないが、本研究の結果は現在の陸水モデルが正しく再現できていない長期的な陸水変化を GRACE が捉えていることを示している。

一方で、GRACE データの空間分解能はせいぜい 300~400km 程度である。都市スケールの陸水変動モニタリングのためには、GRACE の観測結果をモデルにフィードバックしてモデルの再現性を向上させることが今後の課題であるだろう。

### はじめに

本プロジェクトでは、1) 汚染物質の蓄積の評価、2) 汚染物質の輸送の評価、3) 地下-沿岸海洋-河川の各系の相互作用の評価を目的として、現地調査を進めるとともに、そのための手法開発も手がけている。物質班の3年目の展望を整理したい。

なお、今回の物質班の発表は、私の概要に関する話、梅沢による Rn トレーサーによる評価を含む SGD に関する話、及び細野による堆積物に関する解析結果についての話に限定したい。その上で、最終評価に向けての課題を議論できればと考えている。

### 3年目メンバーについて

メインメンバーは、小野寺真一(広島大)、梅沢 有(長崎大)、細野高啓(秋田大)、中野孝教(地球研)、中屋眞二(信州大)、大川浩一(秋田大)、安元 純(地球研)であり、とりまとめを意識して、モデルに強い中屋および安元に加わってもらい、大川には浄化という視点から加わってもらった。また、これまで地下水データのない大阪については、従来からここを研究対象としてきた中屋と中野に中心的に参加してもらうこととして、活動を開始している。学生メンバーは、清水裕太(広島大)である。また、サブメンバーの竹田一彦(広島大)は昨年同様堆積物の金属分析について関与してもらい、齋藤光代(愛媛大)には昨年度までのバンコクの土壌抽出試料の解析を進めてもらい、石飛(奈良市)にはこれまでの SGD データの解析を進めてもらっている。

### 3年目の経過

本年度の1年間の経過については以下の通りである。

昨年度末(2月)にジャカルタ雨季集中調査、今年度8月バンコク雨季集中調査、9月マニラ雨季集中調査、9月-10月大阪集中調査を実施した。概ね、主要都市については2度目の調査が終了した。各都市では、季節変化の調査にとどまらず、トレーサー分析用の採水地点数を増やすとともに、SGDについても長期測定用の地点の検討などを行い、マニラにおいてはデータの回収を行い、バンコクにおいてもモニターステーションの検討を行い今年度中には設置の予定である。あと、バンコクでの粘土層の掘削については、現在検討中である。

### 汚染物質の蓄積に関して

大阪については既存データを利用し、バンコク、ジャカルタ、マニラ、台北、ソウルで一通り全般的な把握のための地下水側水調査を行った。現状は、地下水中の溶存成分分布を確認し、特徴的な成分の評価(Cl, Pb, As, N, Zn, Mnなど)が行われた(Hosono et al., 2008; HydroChange)。また、地下水の揚水にともなう水圧低下により、表層物質の深層への吸い込み傾向が確認された(Onodera et al., 2008; STOTEN)。地下水中の窒素同位体比の評価についても、ソウル、大阪を除き網羅され、窒素負荷の違いや脱窒の傾向が明らかになった(Umezawa et al., 2008; STOTEN)。また、その他の同位体(S, Sr, Pb)についても、概ねカバーされ(Hosono et al., prep.)、今後、さらに公表が進む予定である。あと、塩水化についても検討中である。

不飽和帯を含む評価は、バンコクで最表層の3mで評価が行われた。さらに深部については、今後の調査に組みこんでいきたい。

## 物質輸送と地下-海洋-河川相互作用に関して

各都市の流出域（潮間帯）での調査の結果の多くは、陸域起源の地下水流出がほとんどない（巨大都市部では地下水ポテンシャルの低下しているため）ことが、一方で、再循環にともなう物質負荷は大きいことが確認されつつある。ソウル沖合い干潟で確認された量は河川流量の100倍にも達した。しかし、季節変化の大きい（雨季と乾季）地域として、マニラとバンコクで、長期モニターをおこなっていく予定である。特に時系列モニターステーション（自記シーページメーター、ピエゾメーター採水）を設置し、現地研究者にメンテナンスから成果公表までを依頼している。

また、沿岸海洋における堆積物の調査によって、河川等によってもたらされる土砂生産量とその際に含まれている重金属及び有機物の負荷状況について評価が進んだ。台湾大学 Su さんによる堆積物の年代測定がほぼ終了し、各都市の沿岸で堆積物の状況が明らかになってきた。これも、今後公表されていく予定である。

## 手法開発

現在も、新たな手法開発を継続している。硝酸負荷量ならびに脱窒過程を復元するために、溶存 N<sub>2</sub>/Ar の計測法の確立を、地下水流出量の推定のためにラドン分析の確立、海水浸入の実測のための手法確立（比抵抗法、シーページ法、ピエゾメーター法、トレーサー法などの組み合わせと改良）なども、進捗した。

また、新たにメンバーに加わった、大川による超音波を利用した土壤汚染の浄化法なども、流域管理という点から組み込んでいければと考えている。モデルに関しては、塩水侵入について、安元および中屋が検討を開始した。

## 課題

大きな課題は、各都市間の物質収支モデルであり、インプットの評価については、金子 G との連携を模索し、今年度9月に合同会議を開催した。今後も継続して議論していく予定である。

### Manila

### Bangkok

### Jakarta





H20年度地球研谷WIP「都市の地下環境に成る人間活動の影響」国内会議

# 「物質班報告-3年目-」

11月10日(月)11:30-12:30  
小野寺真一

## 内容

- 小野寺真一 (広島大) : 本年度の概要と今後の課題 : 10分
- 梅沢 育 (長崎大) : インプットとアウトプット-雨水の水質、SGDにおけるRnトレーサー : 15分
- 細野高啓 (秋田大) : 堆積物からみた都市の汚染の履歴 : 15分
- 総論討論1 : 20分
- 総論討論2 (昼食) : 30分

## 目的

- 都市化にともなう汚染物質の負荷量の変化 : 地下 (不飽和帯, 地下水) と沿岸堆積物に貯留
- 海洋への輸送 (汚染の遅れ・継続) : 地下水寄与or堆積物溶解?

塩分=堆積物or海水  
重金属=堆積物or地表  
窒素=地表or堆積物

→実際に調査・復元 (踪存同位体・N2Ar, 堆積物分析, ボーリング), 物質収支モデル解析

## 地下・海洋環境と都市化の関係モデル (物質班的ゴール)

①地下水流出・栄養塩流出なし!  
②汚染物質の地下貯留・遅れ流出  
収支・貯留モデルへ  
→金子班との連携

## 大阪

1970以前:  
汚染負荷  
汚染蓄積

1970以降:  
河川改善⇨  
海洋停滞  
↓  
遅れ過程  
地下水流出  
再循環  
浄化過程!?

(a) Nakatsuji, 1998

## 東京湾の水環境と流域河川環境

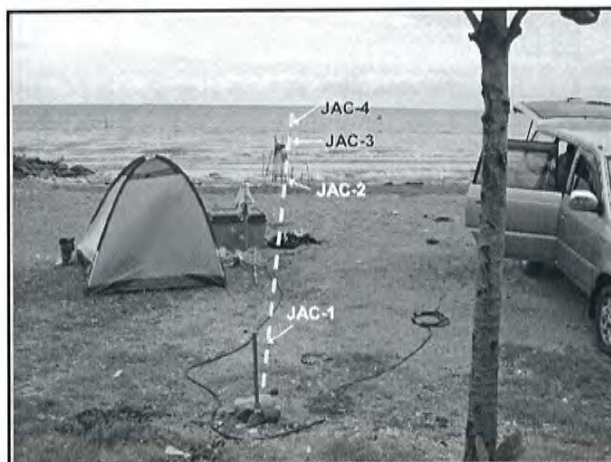
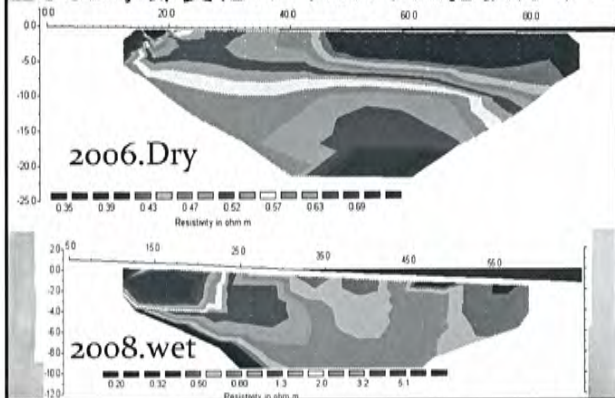
### メンバー

- メイン：小野寺真一(広島大)、梅沢 有(長崎大)、細野高啓(秋田大)、中野孝教(地球研)、中屋眞二(信州大)、安元 純(地球研)、大川浩一(秋田大)
- 学生：清水裕太(広島大院)
- サブ：竹田一彦(広島大)、齋藤光代(愛媛大)、石飛智穂(奈良市)、林美穂(神戸大)

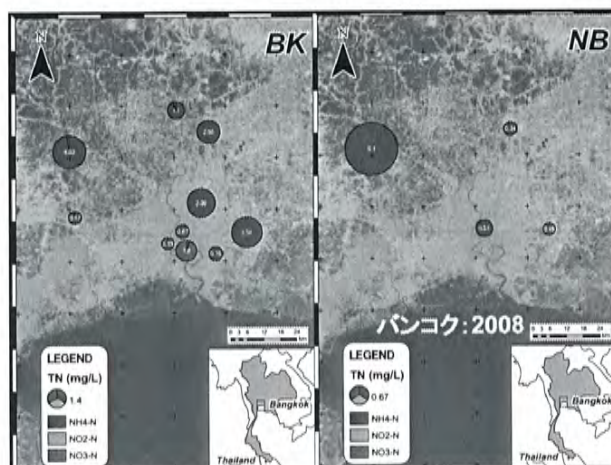
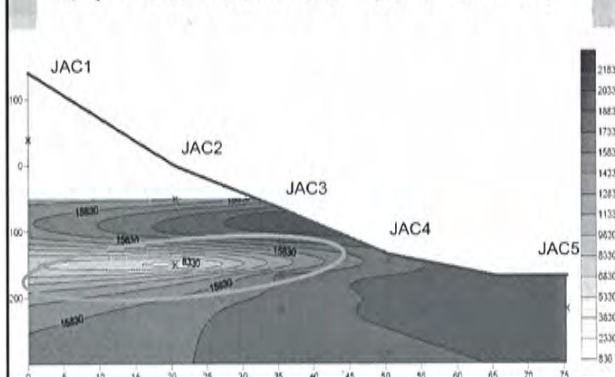
### 調査研究内容

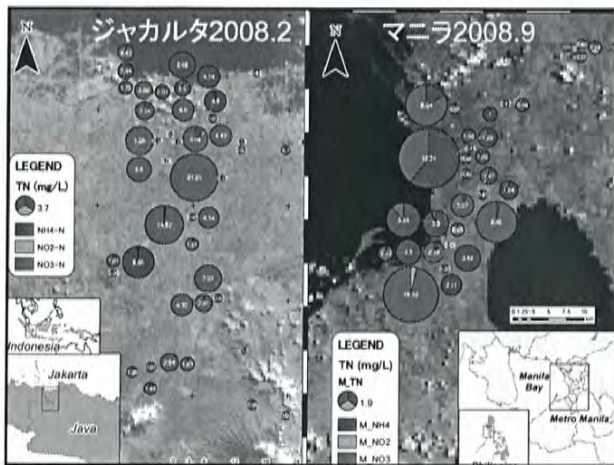
- 手法確立；SGD長期モニター（SP-P-T統合モニター）、ラドン、溶存N<sub>2</sub>Ar
- 現地調査；バンコク、マニラ、ジャカルタ、大阪（季節変化、不飽和帯・地下水、堆積物、沿岸モニター、新手法）
- 分析；堆積物年代、金属/NC、Sr、有機物、N<sub>2</sub>Arなど
- モデル解析へ

### SGD季節変化：ジャカルタ比抵抗分布



### 雨季のPZの観測結果（ジャカルタ）





## 会議 (学会、研究会など)

### 学会

- A) 地球惑星: 「陸域-海域相互作用」 5月
- B) AOGS: 「陸域の物質輸送」 6月
- C) 陸水学会: 「陸水-海水相互作用」 10月

### 研究会

- A) 物質班-社会経済班合同研究会 9月

14

## 成果

- STOTEN: 3
- HydroChange: 4
- 陸水学雑誌 & Limnology: 6
- 水班ベースのHP: 1
- 物質班ベースの特集号:

15

## 班の連携、統合へ

- 地理的: 金子班 = 小野寺班?
- 重心論 = コア班を中心に
  - 金子班 (社会経済) & 嶋田班 (地下水流動)
- 体系(形)論
  - 金子班・嶋田班 vs. 山野班・小野寺班
  - 収支論 vs. 輸送論
- 物質班 + 都市経済班 = 発展型モデル?

16

## 課題

- 塩水侵入: モデル (中屋: 地下水、安元: 干潟)
- 窒素汚染復元: ガス分析
- SGDの影響:
- 都市の発展にともなう汚染負荷物質 (N, Pb)・自然由来汚染物質 (N) の変化:

17

## 内容

- 小野寺真一 (広島大): 本年度の概要と今後の課題: 20分
- 梅沢 有 (長崎大): インプットとアウトプット-雨水の水質、SGDにおけるRnトレーサー: 20分
- 細野高啓 (秋田大): 堆積物からみた都市の汚染の履歴: 20分

18

## 軽元素安定同位体比を用いたアジア大都市域の人為起源汚染と自浄ポテンシャルの把握

梅澤 有 (長崎大学水産学部)

陸水中の硝酸塩汚染や隣接海域への汚染物質の流入は、人間活動に伴う典型的な問題であるが、都市発達段階で異なる人為負荷・社会構造・法規制、また、都市の位置する地形・水理地質・気候条件・海域地形により、その要因や大きさは異なってくることが予想される。

Bangkok, Jakarta, Manila の地下水中の栄養塩濃度と硝酸の窒素・酸素安定同位体比( $\delta^{15}\text{N}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ )を、土地利用や社会経済指標と共に解析した結果、尿尿排水の漏水による都市型汚染の寄与が大きいことが示唆された。しかしながら、人口増加とインフラの未整備にも関わらず、依然として低い GDP は窒素成分の環境負荷量を低くとどめており、これらの都市が立地する嫌氣的な海成層では、脱窒等の 2 次的プロセスの寄与によって、硝酸汚染が抑えられていることがわかった (Umezawa et al. (2008) STOTEN)。

また、各海域において堆積した懸濁態粒子を時系列で保存している堆積物柱状試料の有機物成分(CNP 量と存在比、及び $\delta^{13}\text{C}$  値・ $\delta^{15}\text{N}$  値)を分析し、 $^{210}\text{Pb}$  値を元にして年代毎の値を求めた。これを、時系列の統計データと比較しながら、都市の発達段階、社会構造、立地の違い等により引き起こされる人為汚染の違いを復元することを試みており、大阪、マニラ、ジャカルタのコア試料の分析を終えた。都市の発達時期の早かった大阪では、1920 年代から炭素、窒素、リンの海域への蓄積が見られるが、マニラでは 1980 年代以降に急速な蓄積がみられるなど、環境への汚染物質の蓄積が都市の発達時期に応じてみられている。また、この蓄積量は、都市に隣接する海域の海水交換量が小さいマニラでは大きく、湾が外洋に大きく開けたジャカルタでは小さいなど、汚染の自然浄化能力が都市の立地によって大きく異なっていることが示唆されている。また、 $\delta^{13}\text{C}$  値・ $\delta^{15}\text{N}$  値の変動から、海域に供給される有機物の起源が、陸起源のものから、流入した陸起源栄養塩を利用して海域で生育した植物プランクトンの寄与が増加していることや、人間活動に由来する尿尿排水由来の有機物が増加していることなどが示された。これらの成果は、2008 年 7 月に韓国釜山にて開かれた AOGS (Asia Oceania Geosciences Society Conference) にて、口頭発表を行った。

最後に、沿岸域からの地下水湧出の時空間分布とフラックスの把握のために、プロジェクトメンバーの W.C. Burnett 氏のアドバイスの下、ジャカルタ、マニラ、瀬戸内海、大阪湾において、 $^{222}\text{Rn}$  濃度の測定調査を進めてきた。ジャカルタの北側に隣接するジャカルタ湾では、護岸工事された港湾地帯ではなく、西方に位置する自然護岸地域や、マングローブ林地帯において、相対的に高い  $^{222}\text{Rn}$  濃度が観察され、沿岸域への地下水の湧出の違いが示唆された。瀬戸内海の江田島においても、湧出量の季節性などがわかってきている。大阪湾の調査では、河川水と地下水の分離が課題になっており、今後、追加の調査を行っていく予定である。これらの成果の一部は、2008 年 7 月に韓国釜山にて開かれた AOGS や、10 月に札幌で開かれた日本陸水学会にて、口頭での発表を行った。

また、物質班のメンバーとして、社会経済班との連携を目指してのミーティングや、GIS ワーキンググループとの橋渡し役などを行ってきている。

## 2007年度下半期-2008年度上半期 物質班の成果III

地下水: 汚染モニタリング (JKT, BKK, MNR, OSK)  
 堆積物: 生元素と重元素 (JKT, BKK, OSK, TP)  
 降雨: 生元素と金属 (JKT, BKK, TP, MNL)  
 地下水湧出: シーページメーター、電探  
 : Rnモニタリング (OSK, JKT)

○梅澤、小野寺、細野、清水、石飛、安元、  
 中屋、谷口、Burnett、Su、Siringan、  
 Wattayakorn、Assegaf



## ① アジア大都市の降雨の化学成分分析

- 酸性雨(硝酸性窒素、硫酸イオン)や、  
 重金属による汚染には、地域性や季節  
 性が見られるのだろうか？
- 汚染源は、何か？
- 地下水涵養成分として、地下水汚染  
 に寄与し得るのだろうか？

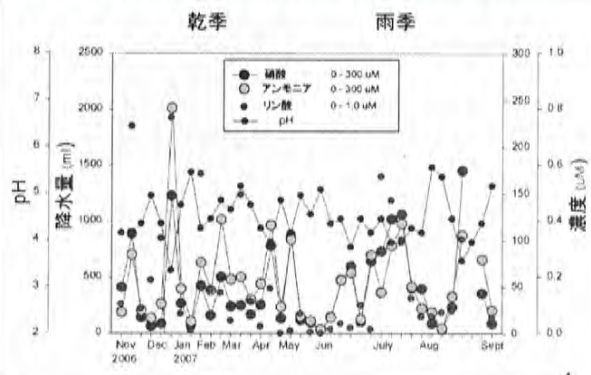


## 雨水採水地域 (2006-2007)

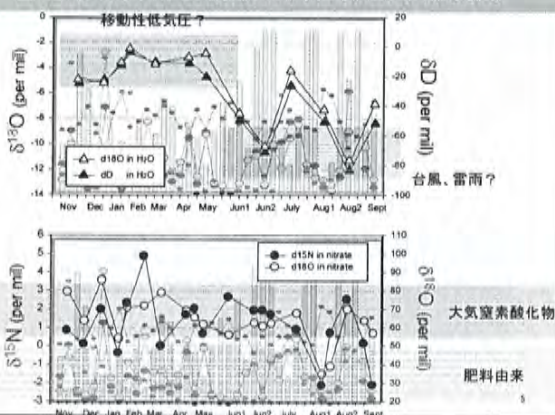
- 一回の降雨(数時間~1日)  
 ⇒ 栄養塩、水・硝酸同位体
- 1カ月の積算降雨  
 ⇒ 重金属



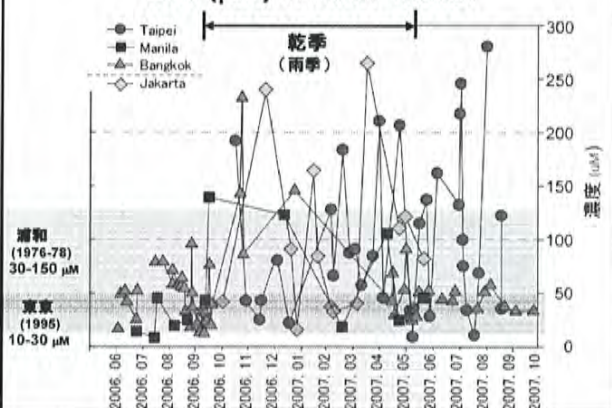
## 台北市の降雨中のDIN/P量の季節変動

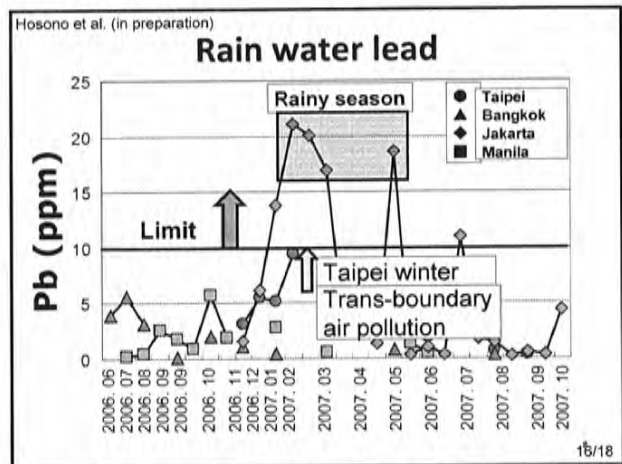
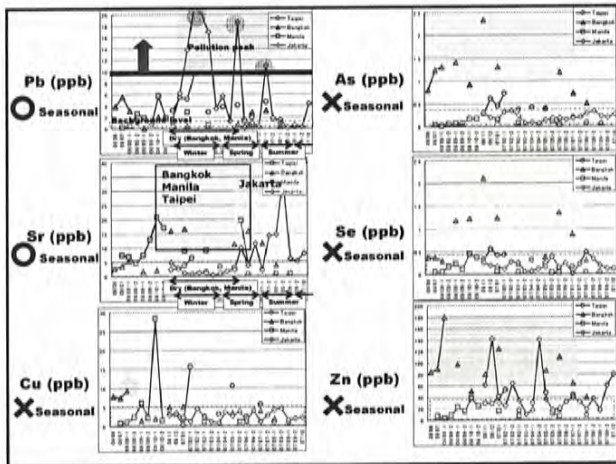


## 台北市の降雨&硝酸の同位体比季節変動



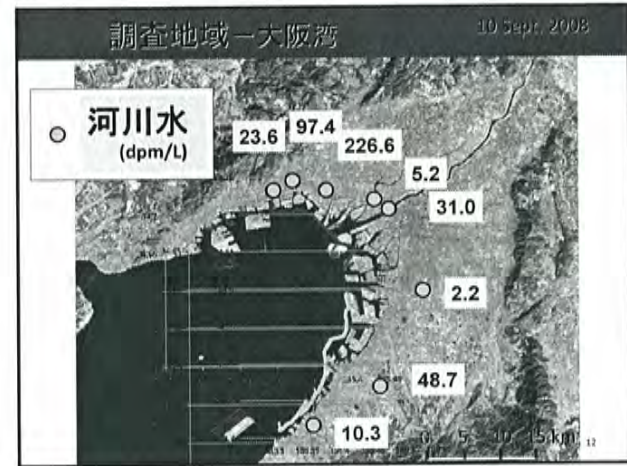
## DIN (μM) in Rain water

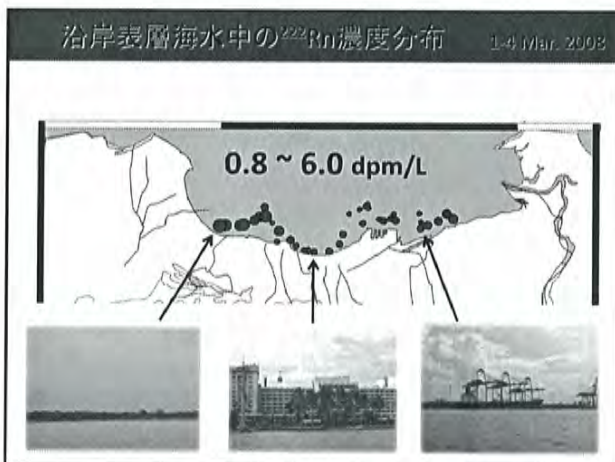
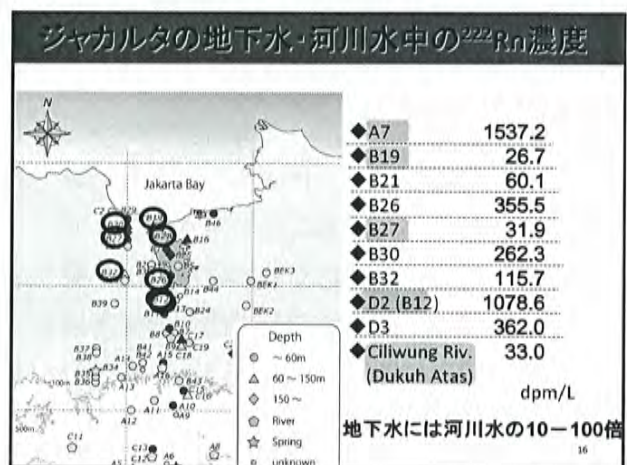
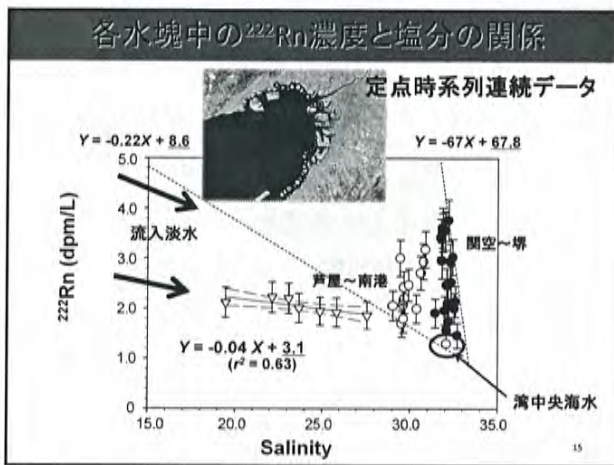
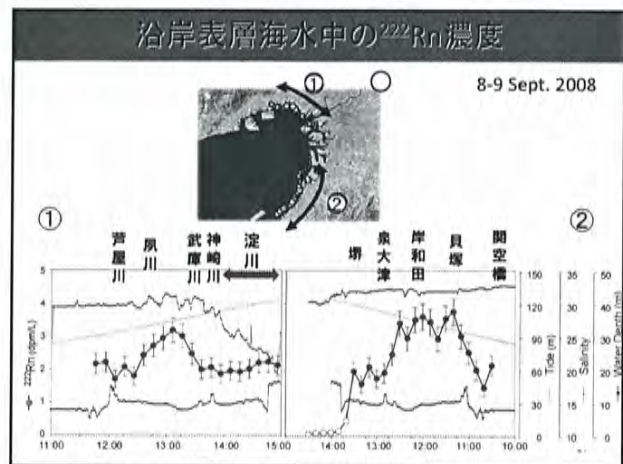




### ② 海域への地下水湧出量定量への課題

- 時空間的に不均一な地下水湧出を、陸域の地下水ポテンシャルマップと相互比較できる広い範囲で、平均的に捉えることができないか？
- 同じ淡水成分である河川水から分離して、地下水のみの寄与を評価出来ないであろうか？





### 2009年の目標

【調査・分析など】

- 大阪湾 Rn、Ra 調査
- 大阪平野井戸水の硝酸の安定同位体比分析

【論文など】

- 大阪、マニラ、ジャカルタの堆積物のCNP分析からの過去の汚染の復元と環境収容力の把握 → Marine Pollution Bulletin
- 台北(とマニラ、バンコクのジャカルタ)の降雨の、水と硝酸同位体比から降雨汚染源の把握 → Water, Air, and Soil Pollution
- 江田島における $^{222}\text{Rn}$ を用いた地下水湧出量の把握 → Limnology

## 大阪平野周辺の地下水環境の地球化学的研究

中野孝教(総合地球環境学研究所)

1. 大阪湾の海底湧水が生態系に与える影響を評価するため、御前浜の湧水周辺に生息する蛤の Sr 同位体組成の分析手法を検討した。デンタルドリルで貝殻周辺の汚れを取り除いた後、数 10mg を取り出し、弱い塩酸で溶出した後、通常の陽イオンカラムクロマトグラフィー法を用いて Sr を抽出した。Sr はタングステンフィラメントに塗布し、地球研設置の表面電離型質量分析装置 (TRITON) を用いて分析した。

湧水の海水への影響を評価するには、 $10^{-6}$  レベルの高精度な Sr 同位体分析が不可欠である。この条件を満たすために、分析プログラムを検討した。検出するイオン電圧を上げるなどして条件設定を改良したが、内部精度は  $5 \times 10^{-6}$  レベル以下を達成できても、1 回の測定で外部精度を  $1.0 \times 10^{-5}$  以内に達成するのは難しい。このため、同じ試料を数回分析することで精度向上を図った。その結果、3 試料の独立分析により  $6 \sim 7 \times 10^{-6}$  程度の外部精度で分析できる条件を確立できた。

この方法を用いて御前浜の蛤の Sr 同位体組成を分析した結果、湧水周辺では非海水の影響がみられる事がわかり、地下水が海洋生態系に与える影響評価に Sr 同位体法を適用できることが示された。しかしながら、海水そのものの不均質性や湧水の Sr 同位体組成についての検討が必要である。そのためには、大阪平野周辺の地下水および表層水の地球化学的情報が不可欠である。

2. 大阪平野周辺の地下水を 10 月初旬に調査し、20 試料余りを採水した。できる限り多くの項目を分析するため、0.2 ミクロンのセルロースフィルタで濾過し、数種類のボトルに保存した。硫黄同位体、Sr 同位体、主成分および微量元素の分析を行う予定である。

同地下水に対する人為影響の評価には、淀川やその周辺の平野を流れる河川に加えて、生駒山地や六甲山の渓流水を採取し分析する必要がある。琵琶湖—淀川プロジェクトや中野 F S 研究などにより、同流域の河川や水道水について地球化学および安定同位体データが集積されている。それら予察的データの検討によれば、御前浜の湧水は六甲山に起源をもつ可能性がある。しかしながら、流域全体の水質の特徴を解明するには人的にも時間的にも問題が多く、次年度の検討課題と考える。



研究内容

大阪盆地の地下水流動と物質輸送を解明する。

成 果

- ・ 大阪平野の 3 次元浸透解析モデルの構築を進めるため、涵養研究委員会が H14 から現在までに作成した旧モデル（中屋と共同研究者(地球研・安元さん)のみ使用を許可されている)を入手し、解析の準備を行なった。
- ・ 大阪平野の 27 箇所において、大阪府環境農林水産総合研究所の協力を得て、物質班のメンバーと地下水サンプリングを行なった。化学分析は今後、進めていく。
- ・ 2002～2005 年間に大阪盆地で測定した地下水の環境同位体や水質のデータを整理し、既存の水位・地質データとともにまとめた。学会にて発表・論文投稿を行なう。

〈 2002～2005 年間の成果の概要 〉

大阪盆地の地下水の涵養源と流動場をとらえるため、標高-300m 以下浅い地下水を対象に、水位分布、および地形・帯水層構造と地下水の酸素および水素の安定同位体比、トリチウム濃度、硝酸態窒素濃度、主要溶存成分の空間分布を調べた。地下水の酸素および水素の安定同位体比から、地下水は盆地の周りの山地と丘陵地や台地で涵養していること、そして、帯水層中を通して、あるいは井戸の抗壁に沿って硝酸塩を盆地の標高-300 m の地下深くまで輸送していることが明らかになった。いくつかの涵養域について、帯水層中の地下水の涵養速度や移動速度を概略的に見積ると、鉛直方向と水平方向について各々、2 - 9 m/y および、0.1 -1 km/y と推定された。

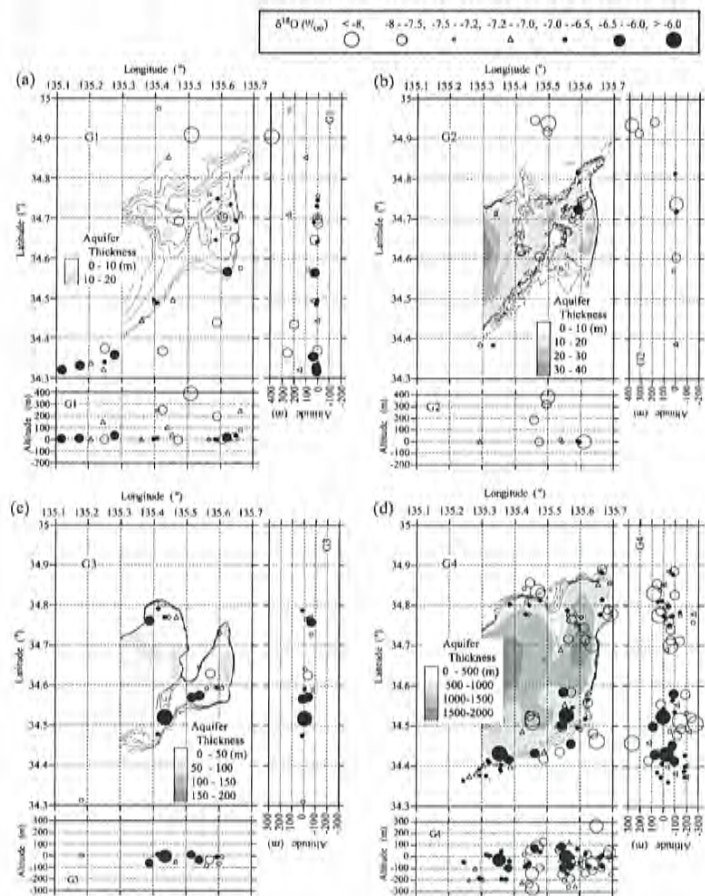


図 帯水層毎の  $\delta^{18}\text{O}$  の空間分布と層厚分布. (a) 帯水層 G1, (b) 帯水層 G2, (c) 帯水層 G3, (d) 帯水層 G4.

## 2008年度の研究内容と成果

細野高啓(秋田大学・工学資源学部)

2008年度に行った主な活動は、①6月下旬に行われた AOGS での成果発表、②8月上旬に実施されたバンコクでの野外調査、③10月上旬に行われた Hydrochange2008 での成果発表、④9月初旬に広島で行われた物質班会議への参加、⑤10月初旬から中頃に行われた試料分析、の五点である。その具体的な内容と成果は以下の通りである。

- ① 大阪, マニラ, ジャカルタで採取した沿岸堆積物コアの金属汚染史に関する Preliminary 研究の結果を発表した。各国のメンバーに成果を報告できたと同時に、今後の分析の進め方について有意義な話し合いが行えた。
- ② 前半は水班との合同調査、後半は沿岸での堆積物コア採取を行った。特に水班の地下水採取はその方法が緻密で優れているため、今回の合同調査により、理想的な分析用試料を得ることができた。また、前回行えなかった沿岸での堆積物コアの採取を行い、各都市比較の材料となる試料を得た。
- ③ ソウル, 台北, バンコク, マニラ, ジャカルタの五都市の基本水質について、プロジェクト研究で得られた成果を発表した。アジアの都市間比較という、プロジェクトの内容に沿った観点からの発表が行えたので良かったと思われる。
- ④ 特に沿岸堆積物から読み取れる汚染史に関する研究の進捗状況の発表、および、今後の研究課題に関する話し合いが行われた。社会・経済班との合同会議ということもあり、文理融合を目指すプロジェクトの方針をフォローする内容となった。今後、大阪に注目して、化学的データと社会・経済的情報のすり合わせを行い、物質班-社会・経済班間の連携を強化することが承諾された。
- ⑤ 2007年に採取したジャカルタ地下水、2008年に採取したバンコク地下水、そして各都市の沿岸堆積物試料に対し、重金属濃度の測定を行った(現在も分析中)。沿岸堆積物試料に関しては重金属濃度以外に鉛同位体比のデータも取得している。高知大学海洋コア総合研究センターの共同利用機関に設置されている ICPMS を用いて分析を行っており(分析にかかる諸費用は全て細野科研費より出費)、膨大なデータが蓄積されてきている。全体会議ではこの結果の一部を紹介する予定である。

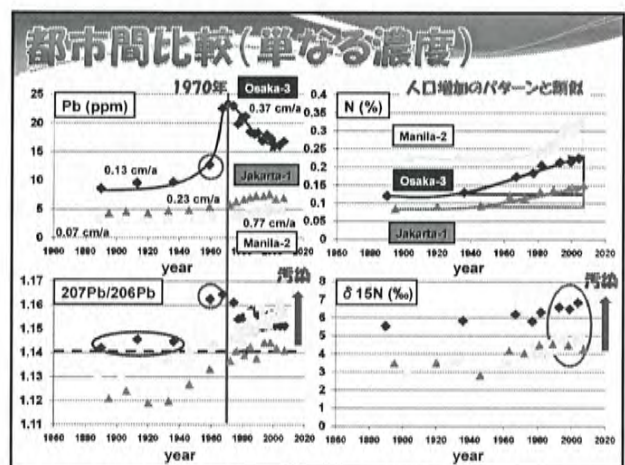
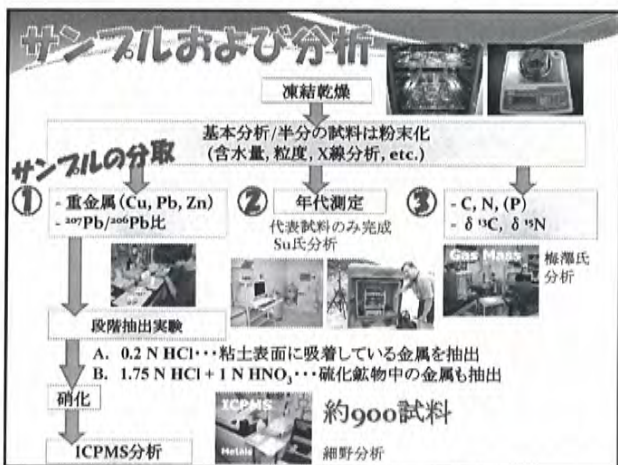
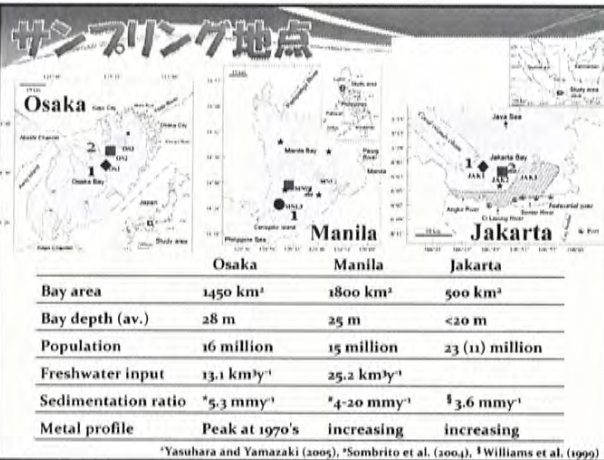
2008年物質班の活動Part 2

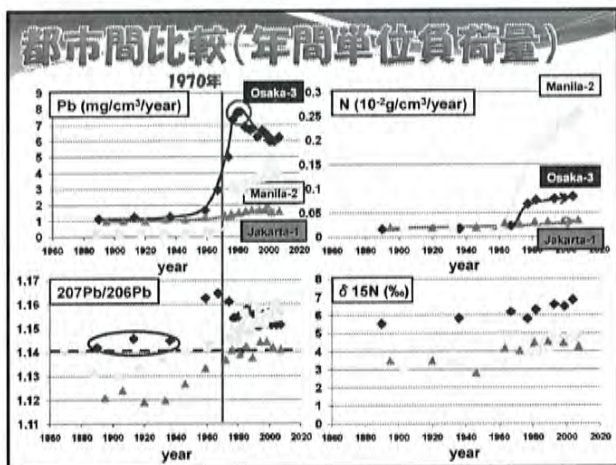
～沿岸堆積物からみた都市の汚染史～

- 細野高啓(秋田大学)
- 梅澤有(長崎大学)
- Chih-Chieh Su(国立台湾大学)
- 安元純(地球研)
- 清水裕太(広島大学)
- 大川浩一(秋田大学)
- 小野寺真一(広島大学)

2008年の主な活動

- 地下水 → 大阪、バンコク、ジャカルタ、マニラ
- SGD → 梅沢さんの発表
- 沿岸堆積物 → 大阪、台北、ジャカルタ、マニラ
- ☑年代測定(30%)
- ☑重金属(Cu, Pb, Zn)
- ☑Pb同位体比
- ☑段階溶出実験
- ☑N, C, P
- ☑C, N同位体比
- ☛文理融合



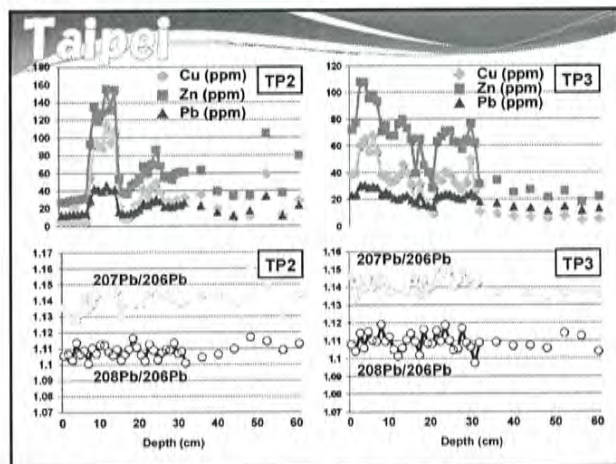


### 2008年度の活動～まとめ～

- バンコクにて新たなコア試料を採取した。
- 9月初旬、広島大学にて都市・経済班(金子先生)との合同会議を開催し、今後の活動計画について協議を行った。
- 一部、年代データを取得した。
- 2006年に採取したコアに対して、実験および化学分析を終了させた。
- 年代を軸にとった都市間比較に一步前進!

### これからの課題

- 年代データの再検討&追加測定
- バンコク・台北コアに対する再検討
- 生元素のパターンの解釈
- 都市・経済班データとのすり合わせ
- 汚染の浄化に関する研究を促進



### これからの課題

- 年代データの再検討&追加測定
- バンコク・台北コアに対する再検討
- 生元素のパターンの解釈
- 社会・経済データとのすり合わせ(大阪)
- 学会発表および論文, 成果の発信
- 汚染の浄化に関する研究を促進

大川さ〜ん!

## 熱班の活動報告

山野 誠（東京大学地震研究所）

熱班では、都市の地表面付近の温度環境に人間活動が与えてきた影響を明らかにする研究を進めている。その主な手法は、掘削孔内の温度分布を計測して解析することにより、過去数百年間の地表面温度変動を復元する、というものである。また、掘削孔内の温度や表層土壌の温度の連続観測により、地表面温度変動の影響が地下に伝播する過程を捉える試みも行っている。

### 1. 観測調査

最近の1年間において、以下のような観測調査を実施した。

バンコク地域（2008年3月）

2004年7月、2006年6月に引き続き、バンコク地域における3回目の調査を実施した。都心部、及びその周辺部の16地点において、孔内温度分布の計測を行った。多くの地点は2004年あるいは2006年に計測を行った地点であり、結果を比較することによって、温度プロファイルの安定性を評価した。2006年に3点の孔井に設置した水温計（1点につき3深度）を回収し、うち2地点に再設置し、新たに1地点での計測を開始した。

ジャカルタ地域（2008年8月）

2006年9月、2007年8月に引き続き、ジャカルタ地域における3回目の調査を実施した。過去の調査で設置した、孔内水温、表層土壌温度、気温の長期計測装置のデータを回収し、再設置を行った。一部の機器については、Fajar Lubis氏が10月下旬に来日する際にデータ読み出しを行う予定である。

国内での観測

埼玉県内の孔井（5地点）に設置した水温計を回収し、長期温度計測データを得た。また、琵琶湖博物館（草津市）の観測孔井においては、深さ15m～130mの間の10点に設置したセンサーの温度連続観測を行っており、長期変動の様子がとらえられつつある。

岡山市の孔井で、ほぼ1か月間隔で温度分布の繰り返し観測を行っており、地下温度の上昇が認められる。

今後の予定

台湾

2009年1月に、台北地域及び台湾中部（台南市近郊）において孔内温度プロファイルの測定、孔内・土壌温度の長期計測装置のデータ回収、再設置を行う。

東京・大阪

2008年度中に、東京地域および大阪地域の観測井において温度分布測定を行う。これらの観測井では、過去にも温度測定が行われており、温度プロファイルを比較することにより、地表面温度上昇の影響を調べることができるものと考えられる。

### 2. データ解析

地表面温度変動の復元

孔内温度プロファイルから、地表面温度変動の履歴を復元する解析プログラムの改良を行った。従来に比べて、温度変動のパターンについてはほぼ同じ結果が得られるが、変動の振幅が大きくなる傾向が見られる。

韓国資源地質研究院から提供を受けた孔内温度データを解析し、ソウルにおける地表面温度変動の復元を行った。ソウルの気温データを条件として考慮した解析と、気温データを使用しない解析を行ったところ、両者の結果は調和的であった。今後、バンコク地域等においても、気温データを考慮に入れた解析を行う予定である。

#### 土地利用の変化との比較

各地で復元された地表面温度変動には、気温の変動のほか、土地利用の変化が影響を及ぼしている可能性がある。今後、各地点における土地利用についてのデータと比較検討を行う予定である。

### 3. 都市の地下への熱の蓄積

地表面温度が上昇すると、地下浅部が加熱され、地表面下に熱が蓄積される。地球温暖化によって、地下にどれだけの熱が蓄積されたかについては、いくつかのモデル計算が行われている。都市においては、人間活動の影響によってさらに多くの熱が蓄積されていると考えられ、今後、都市の地下環境にさまざまな影響を及ぼす可能性がある。

そこで、ソウルについて、気温データ、孔内温度プロファイルから復元した地表面温度履歴に基づいて、地下に蓄積された熱量がどのように増加してきたかの見積りを行った。今後、他のプロジェクト対象都市についても、同様の蓄熱量計算を行う予定である。

地下に蓄積された熱の影響の軽減に結びつくものとして、地中熱を利用した冷暖房システムの研究も進めている。福岡市において、住宅に設置した冷暖房システムの運転性能評価実験を継続して行う一方、地下温度環境に対する影響の数値シミュレーションを実施した。今後の研究により、地表・地下両方の熱環境を改善する有効な方法となることが期待される。

### 4. 研究成果発表 (2007年12月以後)

#### 学会発表

国際シンポジウム Current Problem in Groundwater Management and Related Water Resources Issues (2008年12月・バリ)

口頭発表3件

日本地球惑星科学連合2008年大会 (2008年5月・千葉)

口頭発表1件、ポスター発表1件

Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) (2008年6月・プサン)

口頭発表2件

HydroChange 2008 (2008年10月・京都)

口頭発表1件、ポスター発表4件

(いずれも Proceedings に full paper を掲載)

#### 学術雑誌

STOTEN 特集号 (印刷中)

Yamano et al., Reconstruction of the thermal environment evolution in urban areas from underground temperature distribution

Huang et al., Detecting urbanization effects on surface and subsurface thermal environment — A case study of Osaka

物理探査 (投稿予定)

濱元他, タイトル未定 (孔内温度プロファイルからの地表面温度変動復元について)

## 研究の進捗状況

### 熱班

山野誠・濱元栄起（東京大学地震研究所）  
 江原幸雄（九州大学大学院工学研究院）  
 佐倉保夫・Vuthy Monyrath（千葉大学大学院理学研究科）  
 北岡豪一（岡山理科大学理学部）  
 後藤秀作・宮越昭暢（産業技術総合研究所）  
 Rachmat Fajar Lubis (LIPI, Indonesian Institute of Sciences)

## 研究内容

- ・ 孔井内温度プロファイルの測定  
→ 地表面温度変動の復元
- ・ 浅部での長期温度計測（多点）  
→ 温度変動の拡散過程を捉える



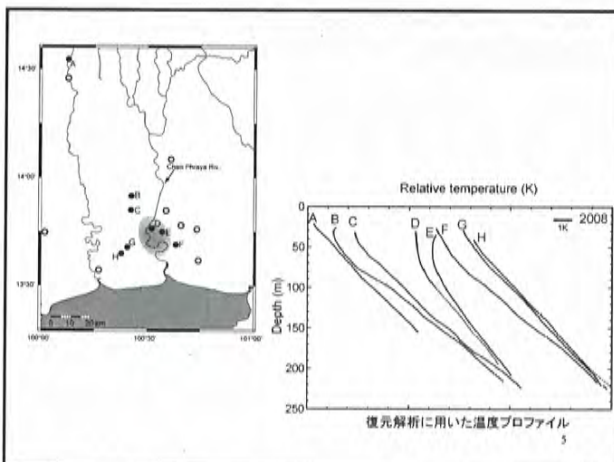
1年～数百年の時間スケールの地表面環境変動を調べる

気温、土地利用の変化、地下水の流動、等

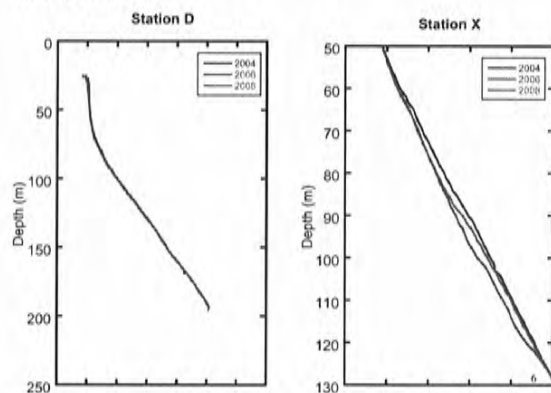
## 地下温度プロファイルの測定

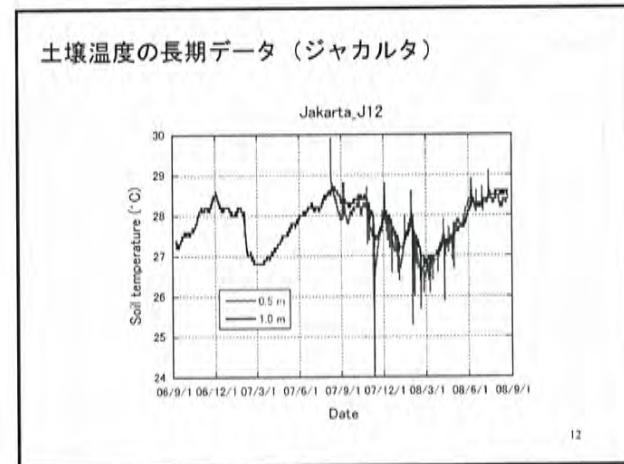
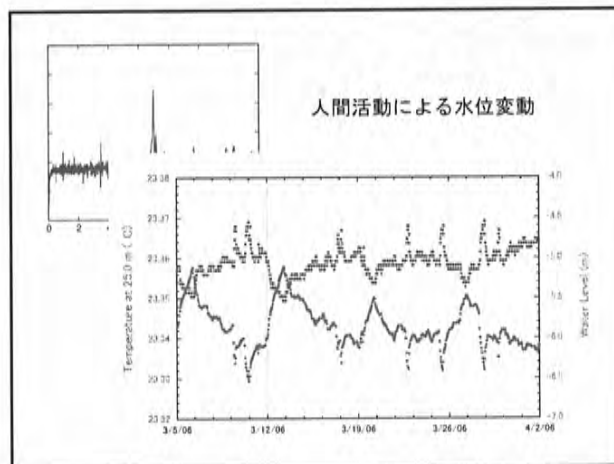
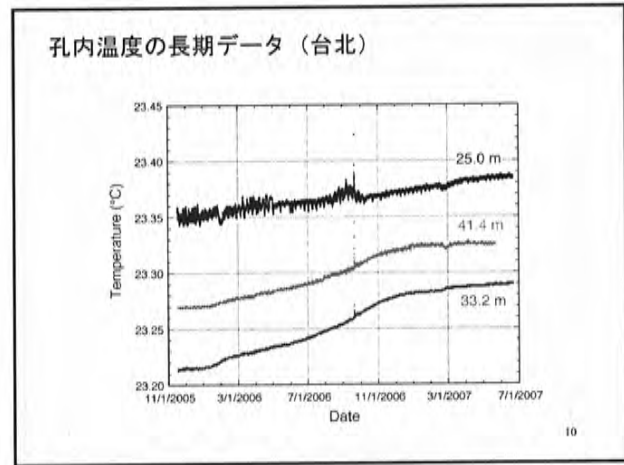
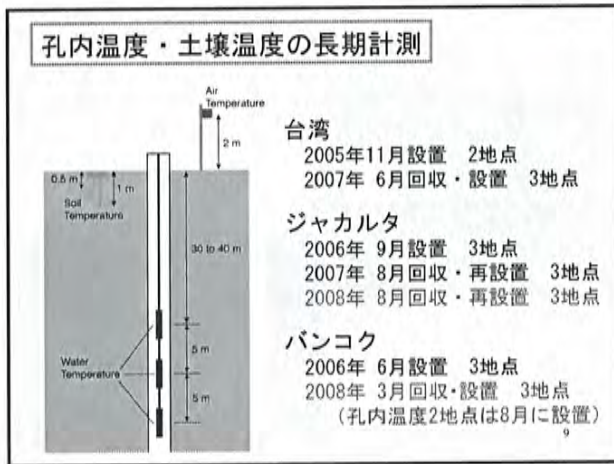
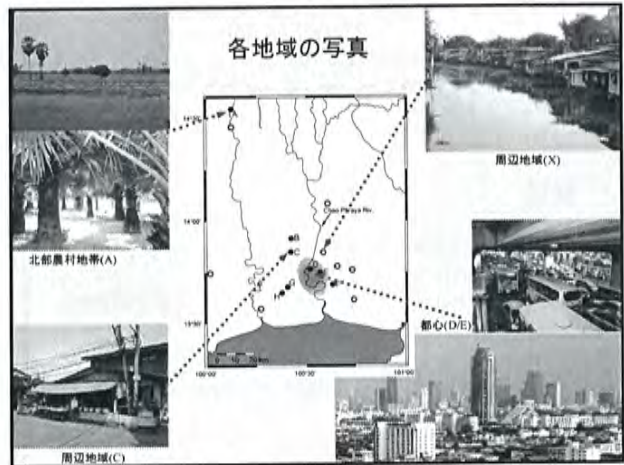
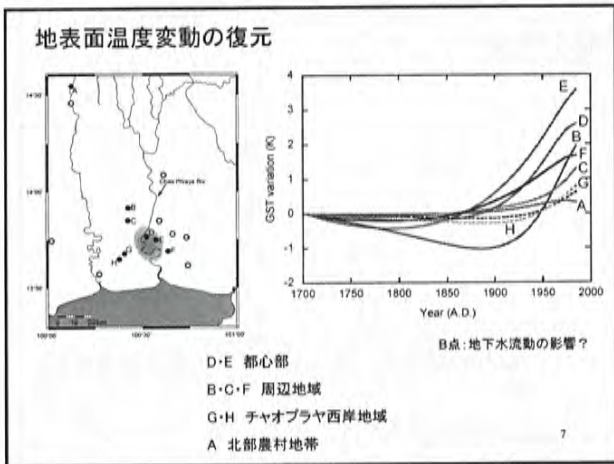
ソウル	2005年 9月	14地点
バンコク	2004年 7月	27地点
	2006年 6月	19地点（繰り返し5地点）
	2008年 3月	16地点（繰り返し12地点）
台湾	2005年11月	11地点
	2007年 6月	18地点（繰り返し8地点）
ジャカルタ	2006年 9月	26地点
	2007年 8月	9地点（繰り返し9地点）
	2008年 8月	10地点（繰り返し10地点）
大阪	2005年	5地点
	2007年	2地点（繰り返し1地点）

## バンコクでの孔内温度計測

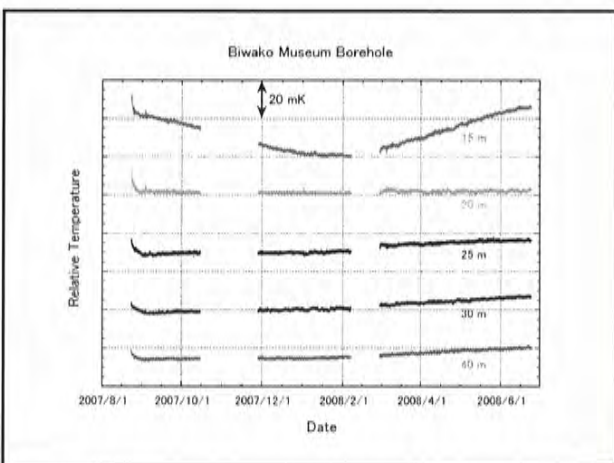
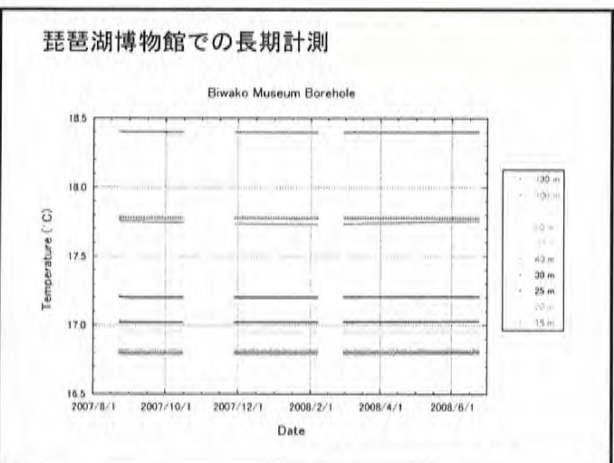
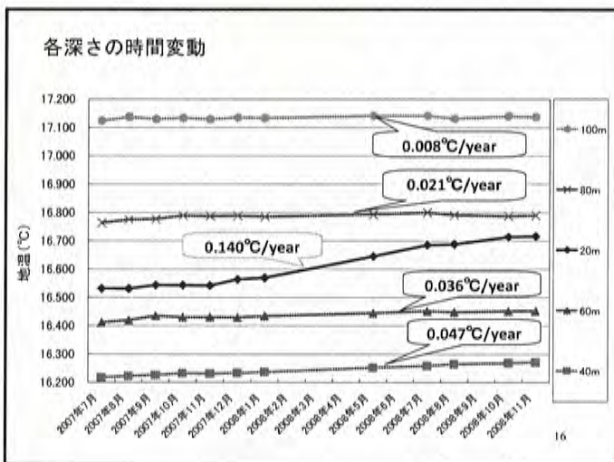
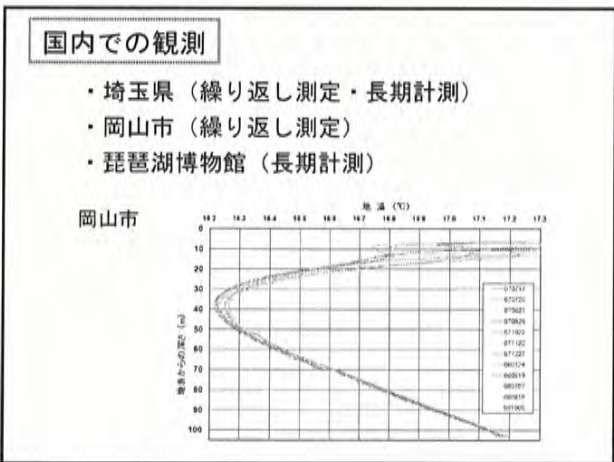
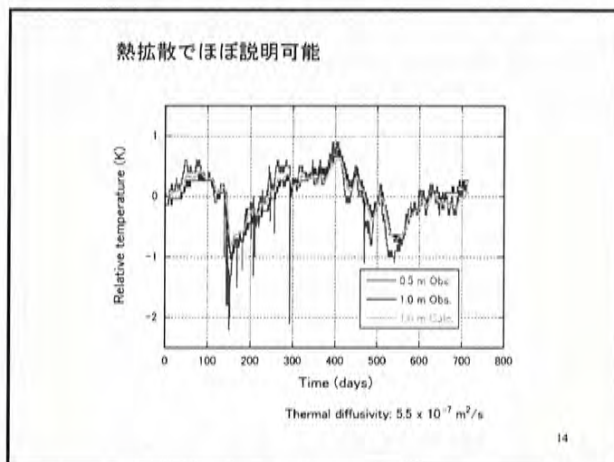


## 繰り返し測定









## データ解析

### 地表面温度変動の復元

バンコク地域

ソウル地域

KIGAM (韓国資源地質研究院) のデータ

解析手法の改良

気温データを考慮した解析

### 地下に蓄熱された熱量の計算

復元した地表面温度変動に基づく

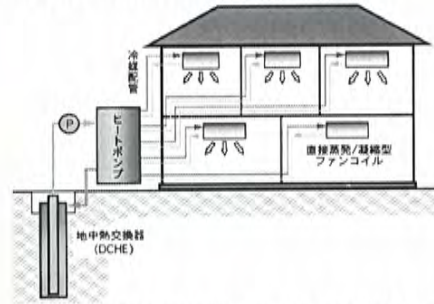
蓄熱の影響の軽減

地中熱利用システム

19

## 地下に蓄積した熱の利用

### 九州大学地中熱利用冷暖房システム



深さ60mの同軸型熱交換器+ヒートポンプ+室内ファンコイル

## 地下熱環境への影響評価予測例

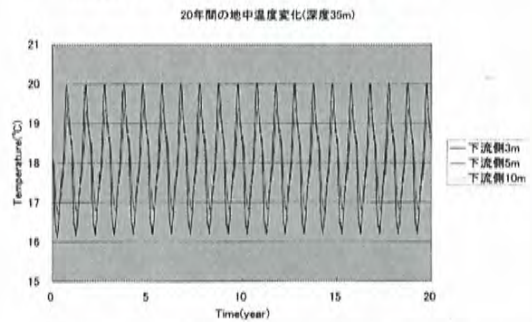
(冷房終了直後深さ35m) 縦10m, 横20m



熱交換井(赤色の最高温度部に位置する)の下流側に高温異常が出現。周辺に比べ、最大2°C程度上昇。

## 20年間稼働した場合の地下熱環境への影響評価

熱交換井より下流側(3m, 5m, 10m) 深さ35m



## 今後の予定と課題

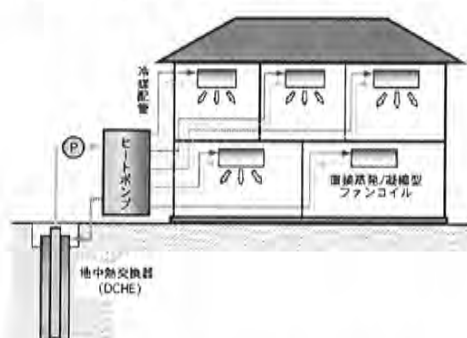
- ・ 観測調査
  - 台湾 (2009年1月)
  - 大阪地域
  - 東京地域 (埼玉県、千葉県が中心?)
- ・ 地表面温度変動の復元
  - 気温データの利用
  - 地下水流動の影響評価
  - 土地利用の変化との比較
- ・ 孔内温度・土壌温度の長期データ
  - 温度変動の浸透過程の解析
  - 気温と地表面温度の関係
- ・ 地下に蓄積された熱
  - 蓄熱量の計算
  - 対策 (地中熱利用システムなど)

23

## 地中熱利用冷暖房システムの開発と地下熱環境への影響評価

江原幸雄（九州大学大学院工学研究院）

都市化に伴う、地表面被覆の変化、建築物による大気の流れの変化、そして住宅用冷暖房あるいは車等による都市大気への排熱の増加等により、ヒートアイランド現象が加速されつつある。このような急速に悪化する都市熱環境の緩和を目指して、以下の図に示す「大気中に排熱をせず、かつ低消費電力型の地中熱利用冷暖房システム」を開発している。



これまで、上図に示す新たに開発した同軸熱交換器を利用した地中熱利用冷暖房システムを2階建て住宅に設置し、7シーズンにわたって運転性能評価実験を行ってきた。各シーズンの運転結果の評価後、それぞれ問題点の改善を行い、2007年の冷房運転においては、ヒートポンプのCOPが8.1、そしてシステム全体のCOPが5.0という、地中熱利用冷暖房システムとしては最高クラスの性能を実現することができた。

上述のように極めて高性能の冷暖房システムを構築できたが、これまでの運転結果に基づいて、このシステムを長期間運転した場合の地下熱環境への影響評価を行った。このような影響評価は、たとえば、本冷暖房システムは大気中に排熱を行わないが、地下へ排熱したり、地下から抽熱することで、地下熱環境が変わり、地下の生態系への新たな影響が生じたり、地下から大気中への放熱が増加したり、さらには、システムの運転性能低下への影響が生じる可能性があるため、長期運転の前に十分な検討が必要である。これまで、熱交換井から3m下流側（流速 $5 \times 10^{-7} \text{m/s}$ 程度の地下水流れがある場合）で最大 $2^\circ\text{C}$ 程度の温度上昇が生じることを確認しているが、長期運転（20年間）の数値シミュレーションの結果、本システムは予め冷房と暖房がバランスするように設計されていることから、経年的に地下温度が上昇したり、低下することがないことが確認された。

さらに、新たに開発した地中熱冷暖房システムの、設置から、運転そして廃棄までを含めたライフサイクルアセスメント（LCA）を行った。比較対象としては、「夏は従来型の空気熱源方式のヒートポンプを利用した冷房システム、冬は灯油ヒーターによる暖房システム」とした。その結果、LCCO<sub>2</sub>ではCO<sub>2</sub>排出が23%削減されること、またコスト評価LCCでは本システムではイニシャルコストは高いが、長期間運転することによりコストは改善し、20年間で従来型システムと比較して、コスト上も遜色ないことが明らかにされた。

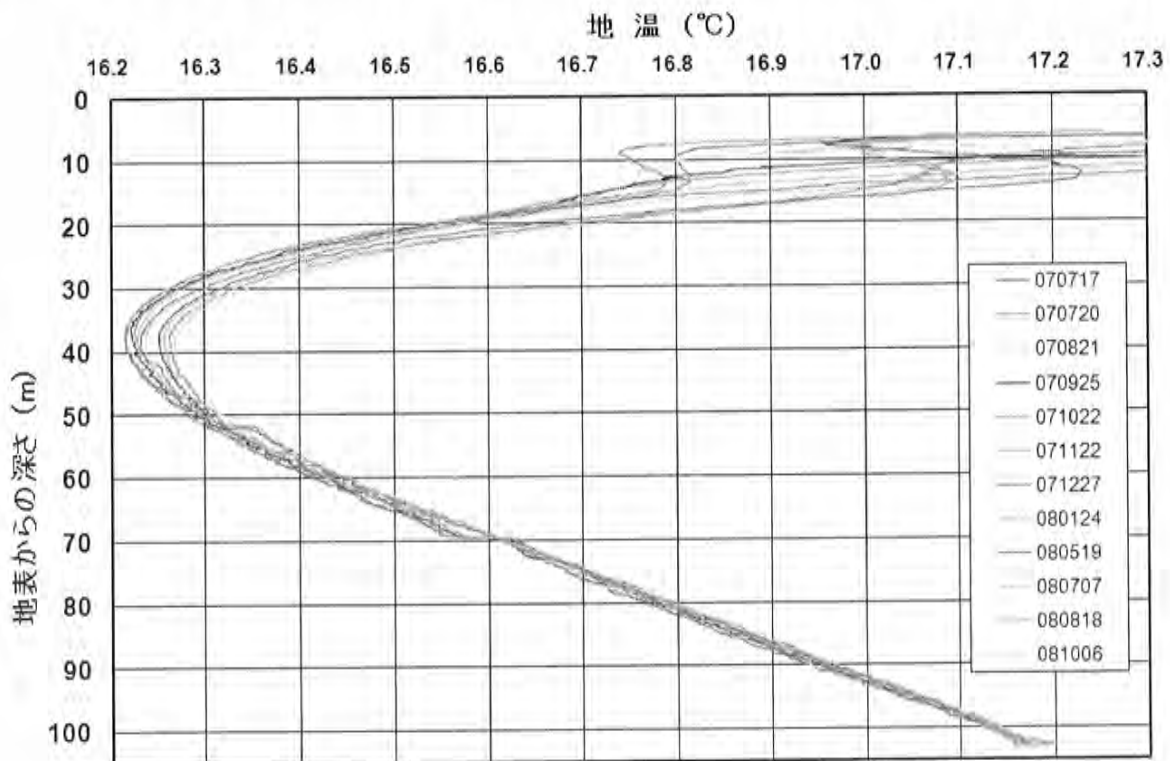
## 岡山市内での地下温度の観測報告

北岡 豪一（岡山理科大学理学部）

岡山理科大学（岡山市理大町1丁目）構内の標高約22m地点で2007年3月に水利用を目的として深さ106mまで掘削が行われたが、水がまったく得られなかった。現在、このVPφ140mmの井戸を利用して地温の鉛直分布をほぼ1ヶ月おきに観測している。柱状図では地下70mまでは固結した礫岩と泥岩の互層、それ以深は花崗岩である。観測は、アレック電子社製のCOMPACT-TDを用い、2007年7月から2008年10月までの間に計12回行った。その結果を図に示す。

温度は深さに対して比較的なめらかな分布をとり、深さ37m付近で極小値をとる。地下70m付近と50m付近には、やや不連続な温度構造が現れるが、季節によって消滅する。これは、地下水の流れの変動の影響であろうと考えられる。この観測期間内において各深さで地温が時期とともに上昇していることが確認される。その上昇率は、地下20mで $0.16^{\circ}\text{C}/\text{y}$ 、40mで $0.04^{\circ}\text{C}/\text{y}$ 、80mで $0.018^{\circ}\text{C}/\text{y}$ 、100mで $0.010^{\circ}\text{C}/\text{y}$ で、100mの深さでも地温の上昇が認められる。

深度20mから40m付近までの泥岩層では、地温分布に水の流れの影響がないものと仮定して、この範囲の実測地温を熱伝導理論による計算値と最小二乗法を用いて比較し、過去の地表温度の履歴の推定を試みた。具体的には、過去の地表温度に2段階の直線的な温度上昇を与えて、その上昇速度を推定した。その結果、地表温度が1950年から $0.012^{\circ}\text{C}/\text{y}$ の割合で上昇を始め、1982年以降で $0.089^{\circ}\text{C}/\text{y}$ の上昇率としたとき、平均二乗誤差 $0.0025^{\circ}\text{C}$ の最確条件が得られた。この地表温度の推定値は、岡山气象台における年平均気温とほぼ平行したものであるが、年平均気温よりも $0.73^{\circ}\text{C}$ 高い値となった。ただし、深さ40m以深では理論値との適合性が弱くなる。これは地下水の流れの影響によるものでありと考えられる。地下水の流れが地温の鉛直分布に与える影響評価がこれからの課題となる。



## 過去の気候変動と人間活動が地下熱環境に与えた影響：韓国・ソウルにおける研究

後藤秀作(産総研)、キム・ヒョンチャン(韓国資源地質研究院)、  
内田洋平(産総研)、大久保泰邦(産総研)

### 今年度の研究とその成果

韓国・ソウルの過去の気候変動と人間活動との関係、およびそれらが地下熱環境に与えた影響を調べるため、ソウルで得られた孔内温度データから過去 500 年間の地表面温度 (GST) 履歴の復元を進めている。今年度実施した研究とその結果を以下に示す (項目 2~5 については本報告書作成時における暫定結果) :

1. 孔内温度データから過去の地表面温度を復元するための解析コードを修正した。
2. 韓国資源地質研究院によってソウルの孔井で観測された温度プロファイルから GST 履歴の復元に適したものを選択し、GST 履歴に関する「先験情報 (a priori information)」がないと仮定してソウルにおける平均的な GST 履歴を復元した。
3. ソウルの気温 (SAT) データが存在する期間について、SAT データを「先験情報」としてソウルにおける平均的な GST 履歴を復元した。この結果を項目 2 における GST 履歴と比較した結果、SAT データを「先験情報」とすることで SAT の変化を反映した GST 履歴が得られることが明らかになった。その一方で、GST 履歴の長期的な変化のパターンは「先験情報」がないと仮定して復元した GST 履歴と調和的であることも示された。
4. 海洋の温度変化はその周辺の陸域の気候に影響を与えると推測される。これを調べるため、ソウルの GST 履歴および SAT データと黄海の海面温度 (SST) の長期変化傾向データ (長崎海洋気象台、2008) と比較した。その結果、20 世紀中頃まで SAT と GST は SST と同じような変化を示すが、20 世紀中頃に SAT と GST の上昇率が SST のそれよりも大きくなり、さらに 20 世紀中頃~後半にかけて GST の上昇率が SAT よりも大きくなったことが示唆された。
5. ソウルの GST 履歴と SAT データおよび黄海の SST データを用いて 1920~2000 年の期間に地下に蓄熱された蓄熱量を見積もった。その結果、20 世紀中頃までは SAT、GST および SST から見積もった蓄熱量は同様な変化を示すが、20 世紀中頃に GST と SAT から見積もった蓄熱量が SST からの蓄熱量よりも大きくなり、さらに 20 世紀中頃~後半に GST から見積もった蓄熱量が SAT からの蓄熱量よりも大きくなったことが示唆された。

### まとめと今後の研究について

今年度は、ソウルで計測された孔内温度データから平均的な GST 履歴を復元し、ソウルの SAT データと黄海の SST データと比較することで気候変動が地下熱環境に与えた影響を評価した。今後はソウルの地理情報データと比較し、ソウルにおける人間活動が地下熱環境に与えた影響を調べる予定である。

# 韓国・ソウルにおける地表面温度履歴の復元と人間活動の地下熱環境への影響

後藤秀作(産業技術総合研究所)  
 キム・ヒョンチャン(韓国資源地質研究院)  
 内田洋平(産業技術総合研究所)  
 大久保泰邦(産業技術総合研究所)

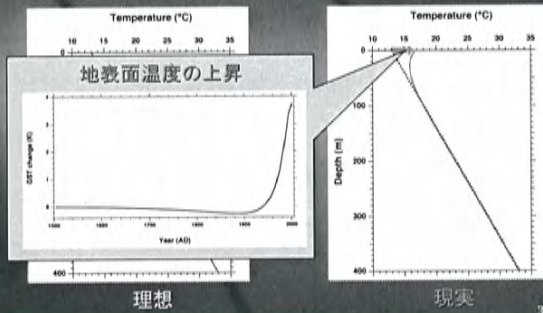
1

## 発表内容

- 地表面温度履歴の復元の原理
- ソウルにおける孔井温度データ
- 地表面温度履歴の復元
- 気象・海象データとの比較
- 地下熱環境への影響の考察
- まとめ

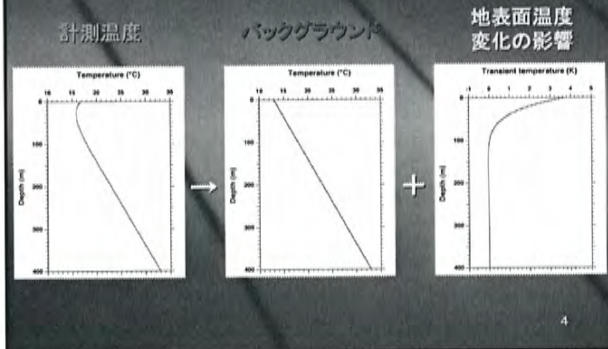
2

## 地下温度プロファイル



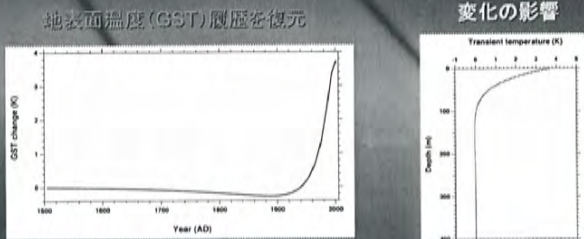
3

## 地表面温度履歴の復元



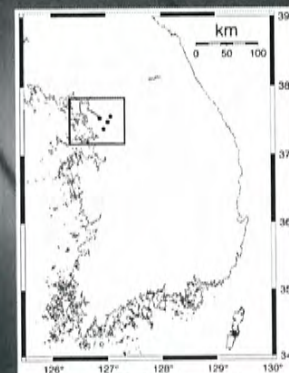
4

## 地表面温度履歴の復元



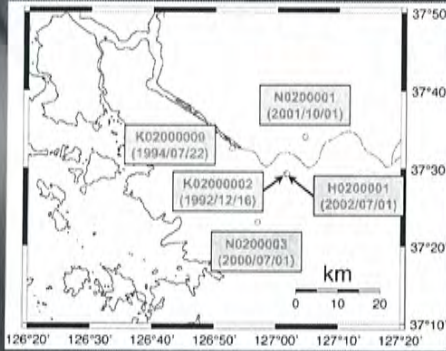
5

## ソウルの孔井温度データ



6

### ソウルの孔井温度データ



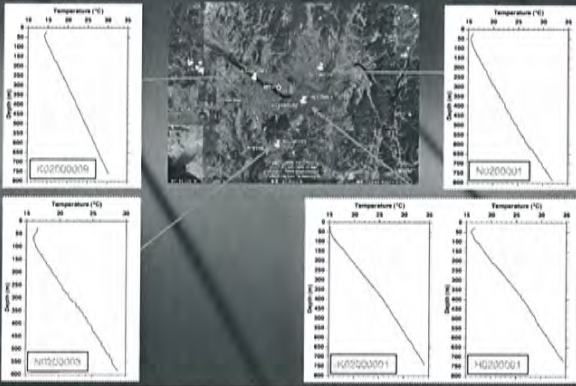
7

### ソウルの孔井温度データ

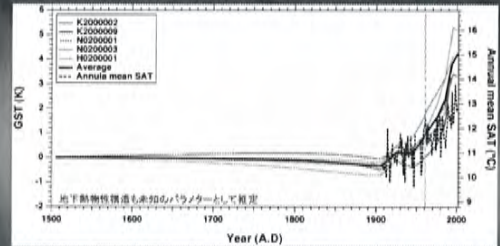


8

### ソウルの孔井温度データ



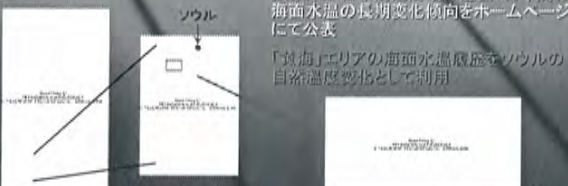
### 地表面温度(GST)復元結果



- 19世紀後半に低温期(気象データ以前)、現在(1990年代)よりも低温期が低い。
- 20世紀前半に温度上昇開始
- 20世紀中頃まで: 気温(SAT)と調和的(SAT: 1.5 K/100 yr; GST: 1.6 K/100 yr)
- 20世紀後半: SATとGSTの上昇率が増加(SAT: 3.5 K/100 yr; GST: 8.2 K/100 yr)

### 自然(バックグラウンド)の変化と人間活動による影響の評価

- ソウルの気温データは自然(バックグラウンド)変化と人間活動の両方の影響を受けている。
- 人間活動の影響が小さいと考えられる海面温度を自然(バックグラウンド)変化として利用する

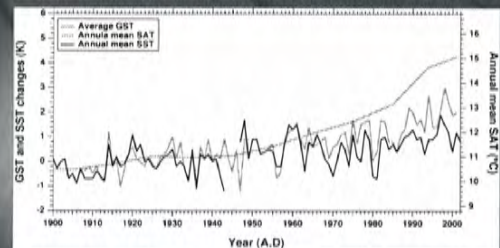


【気象庁ホームページより引用】

【気象庁ホームページより引用】

11

### 海面温度・気温・地表面温度履歴の比較

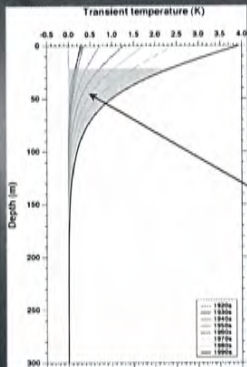


- 20世紀中頃まで気温(SAT)・地表面温度(GST)は海面温度(SST)と調和的
- 20世紀後半から気温・地表面温度は海面温度より上昇の規模が増大

ソウルにおける人間活動がこの地域の温暖化に影響を与えたのは20世紀後半以降

12

## 地下に蓄えられた熱量の評価



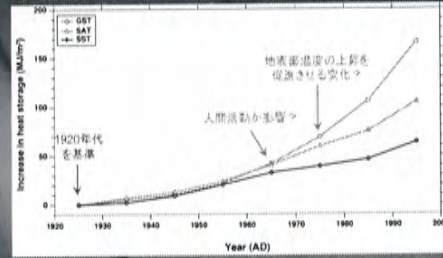
地表面温度の上昇によって地下に熱が蓄積される

地表面温度 (GST), 年平均気温 (SAT), 海面温度 (SST) の温度上昇から推測される蓄熱量とその時間変化を計算

蓄熱量の計算には、地下20m以深の温度を利用 (年変動の影響を含まない蓄熱量を計算)

13

## 地下熱環境への影響の考察: 蓄熱量の時間変化



- 1950年代まで: GST, SATおよびSSTから推測される蓄熱量の増加は同じ
- 1960年代: GSTとSATから推測される蓄熱量がSSTから推測される蓄熱量よりも大きくなる  
→ 人間活動の影響が気温・地表面の温度を上昇させたことを示唆 (ヒートアイランド現象の開始)
- 1970年代: GSTから推測される蓄熱量がSATから推測される蓄熱量よりも大きくなる  
→ 地表面温度の上昇を促進させる変化があったことを示唆  
→ 気温の上昇から推測されるよりも地下熱環境は影響を受けている

14

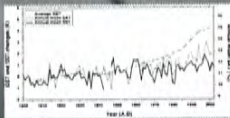
## まとめ



1. 韓国・ソウルの孔井内温度から過去500年の地表面温度 (GST) を復元した

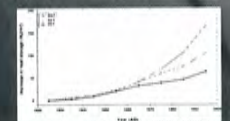
2. 復元したGSTの特徴:

- 19世紀後半に低温期
- 20世紀前半に急激な温度上昇開始
- 20世紀後半から温度上昇率が増加



3. 海面温度 (SST) と気温 (SAT) データと比較:

- 20世紀中頃までは調和的



4. SST, SAT及びGSTから地下蓄熱量を推定:

- 1950年代までは蓄熱量の増加は同じ
- 1960年代にGSTとSATから推測される蓄熱量がSSTから推測される蓄熱量よりも大きくなる。人間活動の影響が気温・地表面の温度を上昇させたことを示唆
- 1970年代にGSTから推測される蓄熱量がSATから推測される蓄熱量よりも大きくなる。地表面温度の上昇を促進させる変化があったことを示唆

15

## 今後の課題

1. 地下物性データを取り入れた地表面温度復元を行う。
2. 土地利用履歴データと比較し、地表面温度の上昇を促進させた原因を調べる。
3. 地下熱環境の変化 (蓄熱量の増加) が自然や人間活動にどのような影響を与えるか調べる。

16



## バンコク地域における孔井内温度からの地表面温度履歴の復元

濱元栄起（東京大学地震研究所），Vuthy Monyrath（千葉大学大学院自然科学研究科），

山野誠（東京大学地震研究所），後藤秀作（産業技術総合研究所）

地表面における温度変動は、地下へ熱拡散によって伝播する。一般的に、岩石や堆積物の熱拡散率は小さいため、深い孔井を用いれば、過去数百年から数千年間の地表面における温度変動の履歴を復元することができる。

バンコク都心部およびその周辺部では、これまで2004年と2006年に孔内温度計測を実施している。そしてそれに引き続き2008年3月に温度計測を実施し16地点で孔井内の温度データを得た。本年は、おもにこれまで温度計測をおこなっている地点での再計測をおこなった。これは同じ観測点で期間をあけて再計測することで地下温度分布の安定性を調べることができ、地表面温度履歴復元のための解析に適している温度データを選ぶ際に重要な情報となる。この結果、地下水流動が温度分布に影響を及ぼしていると思われる孔井があった。

温度計測をおこなった孔井のうち3地点では、浅部の温度変動（深さ約50mまでの3深度）を長期間、連続計測するために2006年に水温計を設置しているおり、本年は、この長期温度データの回収もおこなった。そして3地点のうち2地点では、引き続き同地点で計測を続け、別の1地点で新たに計測を開始した。

解析面では、2004年、2006年、2008年に取得した孔内温度データを用いて過去の地表面温度履歴の復元をおこなった。このなかで、解析手法の見直しをおこなった。以上の解析の結果から、バンコク地域では、最近100年間で0.2Kから3.0K温度が上昇したものと推定され、北部の農村森林地帯やチャオプラヤ川西岸よりも都市部のほうが、温度上昇が大きいことがあきらかになった。このような傾向は、人間活動によるヒートアイランド現象によるものだと考えられ、都市発達の程度と関連している可能性がある。

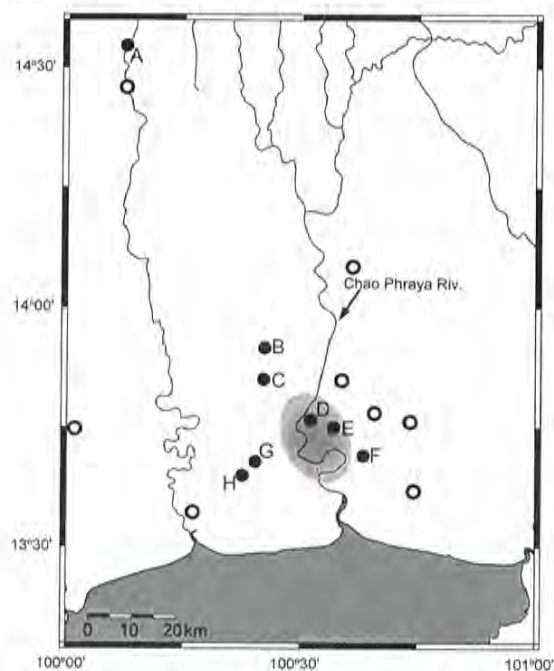


図1 2008年に孔井内温度計測をおこなった地点。黒丸は、解析に用いることができた地点。

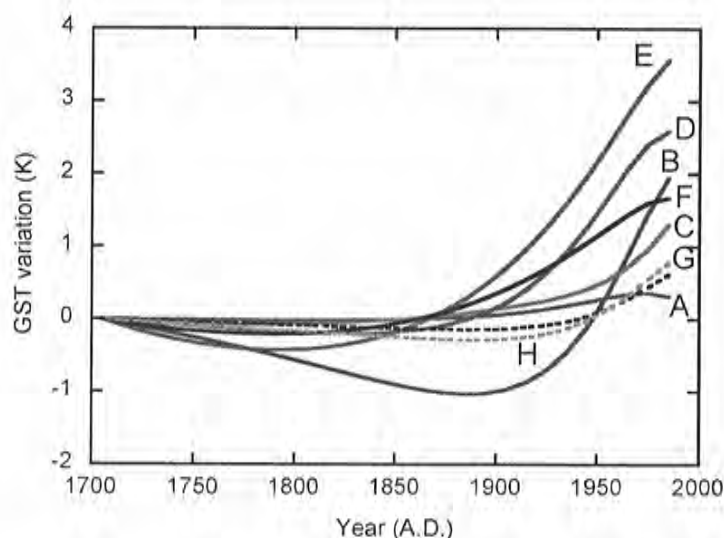


図2 地表面温度変動履歴の復元結果

## 東京地域における人間活動の影響による地下温度環境変化

宮越昭暢（産総研）

東京都とその周辺地域における地下温度環境変化を評価するために、観測井における地下温度プロファイルの測定を2001～2002年と2005～2006年に2回実施し、3次元地下温度分布とその経年変化を把握した。

観測された地下温度分布には、高温域・低温域の分布に地域性が認められる。低温域は武蔵野台地及び下総台地に広く分布し、高温域は東京低地中央部に分布する。台地部の低温域は地下水涵養の影響と考えられ、高温域の分布は地下水流動の水理的な下部境界である固結シルト層の上面深度が浅い位置と一致する。このような地下温度分布の地域性は、東京地域における地下水流動の影響を反映している。

低地中央部の高温域は、地下水揚水に起因した地盤沈下量の大きい地域とも一致する。また、河川沿いおよび東京湾岸部には局地的な低温部が存在する。現在も日量約50万m<sup>3</sup>程度の揚水が実施されている武蔵野台地西部においては、揚水深度まで低温部が到達しており、到達深度は地点により異なる。このような局地性は、地下温度分布が自然状態の地下水流動だけでなく、人間活動に伴う揚水の影響を反映していることを示している。

低地部においては、1956～1967年の過去データと1999年以降の地下温度データを比較により、過去43～32年間に於いて約0.5℃以下の地下温度の低下が荒川沿いの地域に認められた。地下温度プロファイルの解析結果から、下向きの地下水流動がその要因と考えられる。低地部においては1950年以降の揚水規制により、地下水位は上昇しているが、過去の揚水による地下水流動の変化が地下温度分布に記録されている可能性がある。

一方、地表面温度上昇に伴う浅部地下温度の上昇が広く認められた。浅部地下温度の上昇により、地下温度プロファイル中には極小温度が形成される。地下水涵養域である武蔵野台地においては、低地部よりも極小温度出現深度が深く、温度上昇部は郊外の西部よりも東部において高温である。また、2001～2002年と2005～2006年の地下温度プロファイルを比較すると、極小温度出現深度が浅いにおいて温度上昇が認められ、温度上昇量は郊外よりも都心で大きい。また2006～2007年にかけて実施した地下温度のモニタリングにおいても、同様の温度上昇が認められた。この結果は、地下においてもヒートアイランドが進行していることを示している。地下温度環境は人間活動の影響を反映し、深度や規模において異なる変化を遂げていることが明らかとなった。

### **Evaluation of change in subsurface thermal environment due to effects of human activity in the Tokyo metropolitan area.**

Information on three-dimensional subsurface temperature distribution and its change were examined by measuring of temperature-depth profiles at observation wells in 2001-2002 and 2005-2006, to evaluate the subsurface thermal environment in and around the Tokyo Area.


Regional variation was observed as follows: low temperatures were found in the Musashino and Shimousa Uplands, and high temperatures were observed in the central part of the Tokyo Lowland. Low temperatures are considered to result from groundwater recharge, and the high temperature area corresponds to an area where the lower boundary of groundwater flow is relatively shallow. These regional variations suggest the effects of groundwater flow in the Tokyo area.

The high temperature area in the central part of the lowland corresponds also to an area with severe land subsidence resulting from excessive groundwater pumping, and there are local low temperature spots along the rivers and Tokyo Bay. In the eastern part of the Musashino Upland groundwater is pumped up by 0.5 million m<sup>3</sup>/day, and the temperature at pumping depths is lower than surrounding areas. Depth and low temperature varies by locations. Not only the effects of a natural ground water flow, but also this local variation shows effects of the human activity such as groundwater pumping.

In the lowland, a comparison between past data (1956 - 1967) and present data (after 1999) revealed widespread decreasing temperatures of less than 0.5 °C along the Arakawa and the Sumida River. This is explained by downward groundwater flow based on an analysis of temperature-depth profiles. However, groundwater levels have been increasing since the institution of pumping regulations in the 1950s. It is suggested that the past groundwater flow change affected by the pumping is recorded in the present subsurface temperature data.

On the other hand, subsurface warming at the shallow part affected by ground surface warming is recognized in almost all of this area. The subsurface warming represents a minimum in temperature-depth profiles. In the Musashino Upland, depths of minimums are deeper than the lowlands, and temperature above minimum depths is warmer in the eastern urban area than the western suburban area. A comparison of 2001 to 2002 data and 2005 to 2006 data shows the subsurface warming above the minimums of about 0.06 °C/year in the urban area and 0.02 °C/year the suburban area. This fact suggests the existence of the heat island phenomena in the subsurface environment. Subsurface environment shows the various changes in the depth, location and amplitude due to the effects of human activity.

### 東京首都圏における地下温度環境の変遷



宮越昭暢(産総研)  
林武司(秋田大)  
八戸昭一(埼玉県環境科学国際センター)  
佐倉保夫(千葉大)



地下プロ全体会議・土浦  
2008年11月10日

### 目次

1. 東京地域の地下水流動と地下温度分布
  - 浅部(地表面~深度50m程度)と深部(深度50~150m)の分布傾向の違い
  - 地表面温度上昇の影響、水理地質と揚水の影響を反映した地下水流動の影響
2. 地下温度環境の変化
  - 短期(過去5~15年)⇒ 浅部・地表面温度上昇の影響
  - 長期(過去30~60年)⇒ 深部・地下水揚水の影響
3. 長期モニタリングの速報
  - 浅部地下温度の上昇傾向

### 東京地域における地下温度環境の変遷

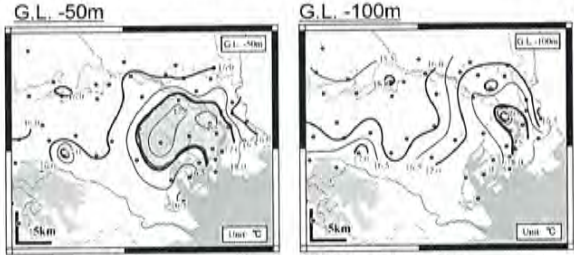
地盤沈下・地下水位観測井 地点数:46, 深度:100~400m

東京都土木技術センターと共同で、2000年~2005年に地下温度プロファイルの測定を複数回実施 ⇒ 地下温度分布を把握

過去データとの比較 ⇒ 地下温度環境の変遷を把握

### 地下温度の平面分布



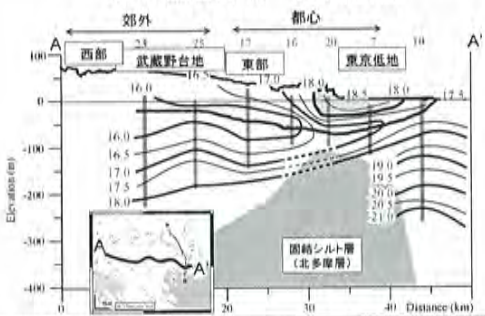
高温部: 台地東部~低地中央・南部  
低温部: 台地西部・低地北部(内陸部)

高温部: 低地中央・南部  
低温部: 台地西部

地下温度分布の地域性と深度差

ヒートアイランドの影響大      地下水流動の影響大

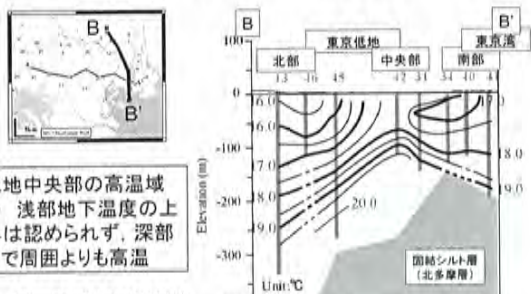
### 地下温度分布—東西断面



地表面~標高-50~-100m ⇒ 地表面温度上昇の影響  
地下温度上昇部の深度 ⇒ 低地<台地

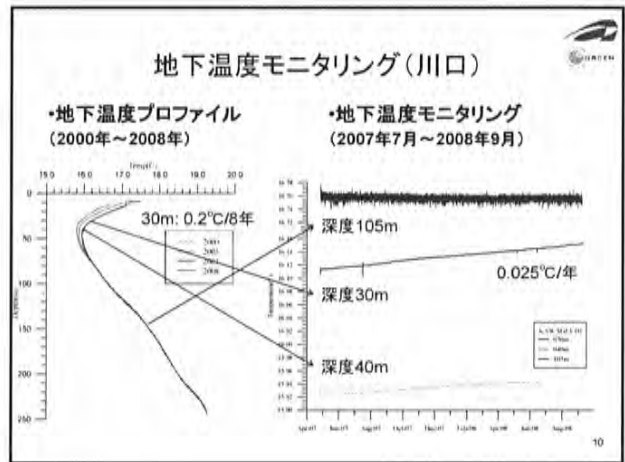
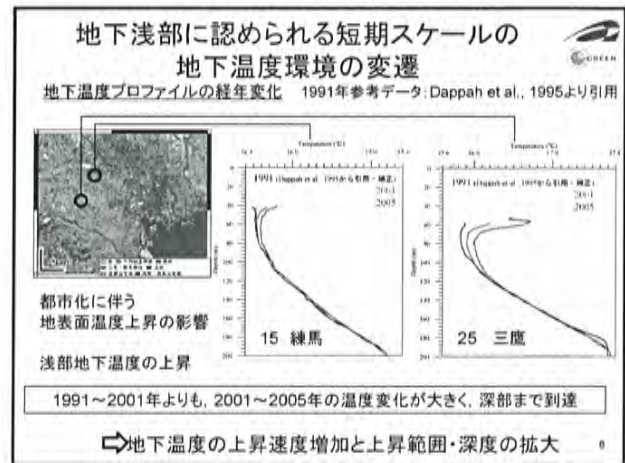
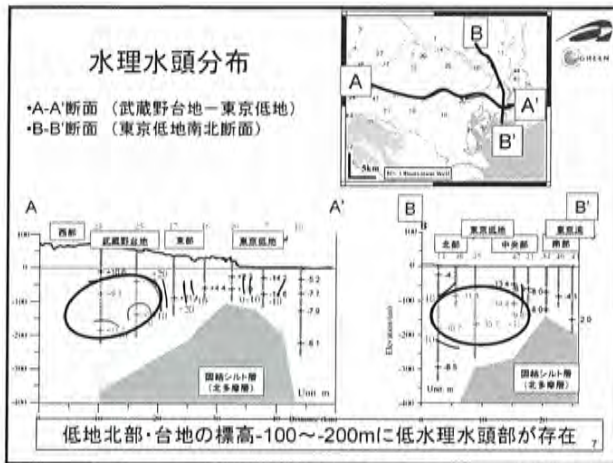
⇨ 地表面温度上昇+地下水流動の影響を反映

### 地下温度分布—南北断面



低地中央部の高温域 ⇒ 浅部地下温度の上昇は認められず、深部まで周囲よりも高温

⇨ 地下水流動の影響を強く反映している可能性



- ### まとめ
- 短期(過去5~15年)の地下温度変化
    - 深度50~100m程度まで
    - 地表面温度上昇の影響. 温度上昇の速度が増加
  - 長期(過去30~60年)の地下温度変化
    - 深度100m程度~
    - 揚水による地下水環境変化の影響
  - 地下温度モニタリング
    - 地下温度上昇の評価
- 今後の展開
- 地表面温度ヒストリーの復元
  - 都市の地下環境に認められる地下ヒートアイランドの評価
    - 地下温度上昇量を推定
    - 東京首都圏規模でのマッピング⇒GIS

**Reconstruction of the thermal environment evolution in Jakarta from underground temperature profiles (Progress Report)**

**Rachmat Fajar Lubis**

Heat island effect is one of major problematic effects in developed cities, and it is important to understand the relationship between air temperature change and developing stage of each city. This report intends to reconstruct GST history from vertical temperature profiles measured in boreholes.

The thermal profiles and water levels in 6 observation wells from 6 Heat Observation station (40 – 230 m deep) were measured in the study area, in 18-24 August 2008. The thermal-profile measurements were made at 2-m intervals from the water level to the bottom of the hole with a digital thermister thermometer of 0.01 °C precision. The boreholes selected are observation wells, therefore ideal for thermal studies. Due to the previous measurement on July 2004, September 2006 and August 2007 they can be considered to have attained thermal equilibrium conditions between water in a borehole and surrounding subsurface temperature.

Air temperature has been continuously recorded since September 2006 until August 2008 in 3 station. Soil temperature and water temperature at 35, 40 and 45 meter above average water level already recorded anually. Water level temperature also recorded in 5-observation station and can be downloaded successfully. For this year measurement, all data could be gathered successfully, except water temperature 35 meter depth at central Jakarta obs.station (J-28 MPR).

Urban Subsurface Environment Project 2008/11/10-11  
**地下プロ全体会議 in 霞ヶ浦**

**Model-WGの現状について**

総合地球環境学研究所  
 プロジェクト研究員 安元 純

**Modelの目的**

■ 都市化が及ぼす地下水への影響を定量的に把握

都市化前 → 都市化による不透水領域の拡大

引用: 福岡市庁 池田・長瀬

水循環に及ぼす影響  
 ★表面流出量の増大, ★洪水時流量大, ★平常時流量小,  
 ★地下水位の低下, ★水質の悪化.

**Modelについて**

■ 各都市詳細モデル(地下水/水文モデル)  
 目的: 都市化に伴う地下水水位の変化を時代間で比較  
 ・ 東京, 大阪, Bangkok, Jakarta, Manilaで解析  
 ・ 3時代間(1930's, 1970's, 2000's)

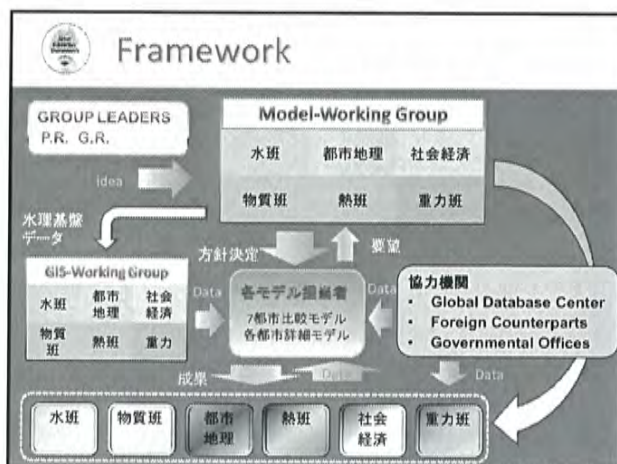
各都市モデルで共通となる項目を集約

■ 7都市比較モデル(簡単な水収支解析)  
 目的: 都市化に伴う水収支(主に地下水貯留量)の変化を比較  
 ・ 7都市間(東京, 大阪, Bangkok, Jakarta, Manila, ソウル, 台北)  
 ・ 3時代間(1930's, 1970's, 2000's)

**各Modelの担当者**

7都市比較モデル  
 ■ 担当: 安元@水班

各都市詳細モデル(地下水流動・水文モデル)  
 ■ 東京: 愛知(東大)@水班  
 ■ 大阪: 安元(地球研)@水班, 中屋(信州大)@物質班  
 ■ Bangkok: 山中(筑波大)@水班,  
 ■ Jakarta: 利部(熊大)@水班, 安元協力  
 ■ Manila: 田中(滋賀大)@社会経済班  
 ■ Seoul: なし  
 ■ 台北: なし

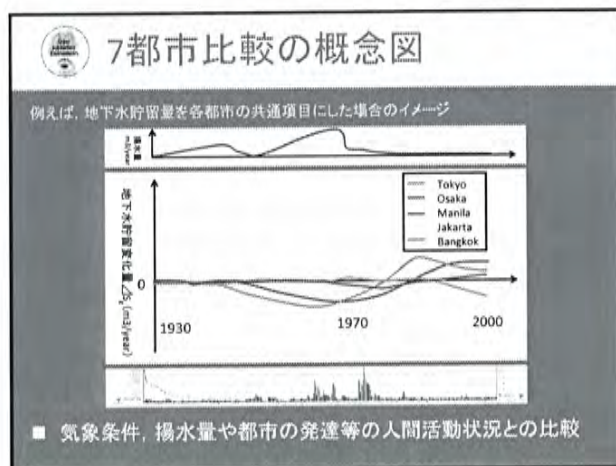
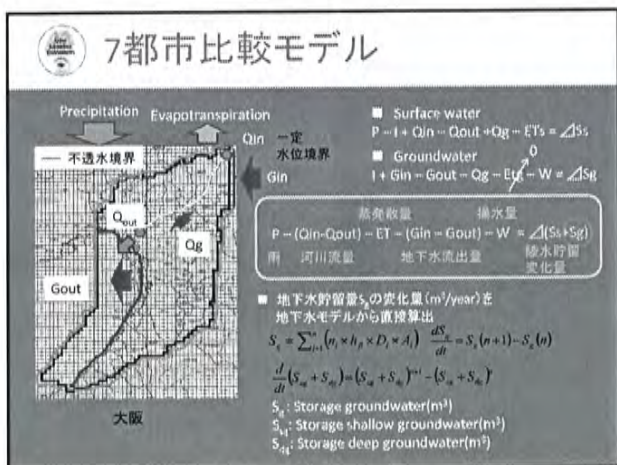


**第1回Model-WGの協議内容**

開催日時: 2008年10月4日(土曜日)  
 参加者: 谷口真人, 中屋真司, 山中勤, 田中勝也, 愛知正温, 利部慎, 安元純

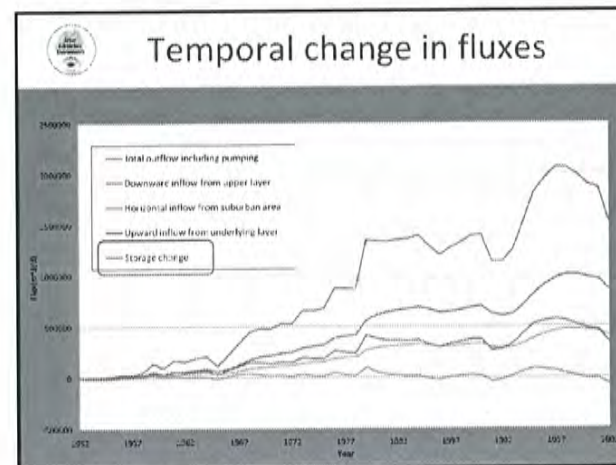
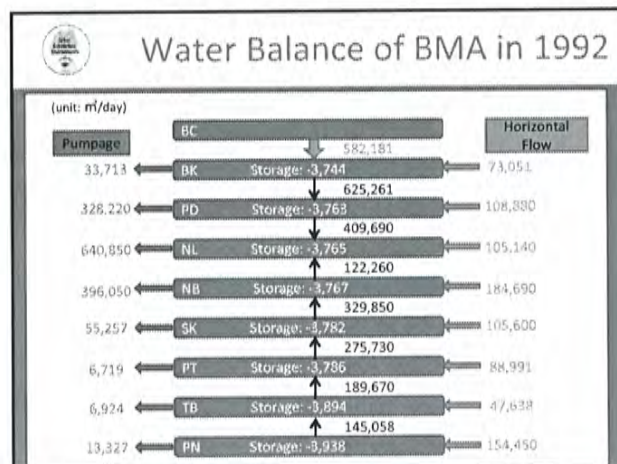
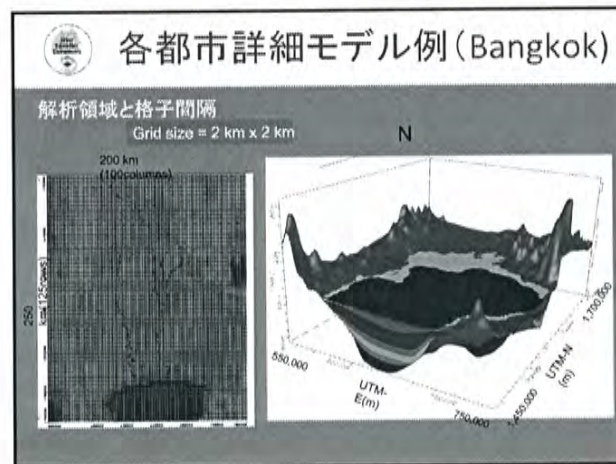
【要約】

- 7都市比較モデルというよりは、各都市の詳細モデルの結果を集約した水収支解析とする。
- 各都市詳細モデルから7都市モデルへ集約する共通項目の決定。
- 各都市詳細モデルで使用する地下水モデルはMODFLOWに統一。マニラではSWATとMODFLOWをリンクさせる。
- 大阪やジャカルタ、マニラでは地表面からの涵養量や河川とのインタラクションを考慮する。



### 今後のタイムスケジュール

	Tokyo	Bangkok	Osaka	Jakarta	Manila	Taipei	Seoul
2008 12月	降水量, 蒸発数量, 揚水量						降水量, 蒸発数量, 揚水量
2009 1月	河川流量						河川流量
2月							
3月	地下水貯留量						
4月	第3回Model-WG開催		現状確認, 方向性の確認				
5月							
6月							
7月							
8月							
9月							
10月	第4回Model-WG開催		各都市モデルの結果報告と共通項目の集約				
11月							
12月	プロジェクト報告会		(7都市比較をここまで完成させたい)				
2010 1月							
2月	地下プロ		最終評価				





## 大阪モデル化範囲 1) 平面範囲

西側は大阪湾に面した東西約35km、南北約50kmの範囲のうち、  
 基礎岩上の堆積層の分布する範囲  
 海側は海岸より約10km程度離れた地点を境界面に設定した。

## モデル化範囲 2) 層区分

層序区分	モデル化区分	層厚		
沖積層	上部層	No. 1層	30~50m	
	中部粘土層			
	下部層			
上部 洪積層	天然層	No. 2層	30~100m	
	(第1洪積砂礫層)			
	Ma12層	No. 3層		
	(第2洪積砂礫層)			
Ma11層	No. 4層	50~100m		
(第3洪積砂礫層)				
Ma10層	No. 5層			
Ma9層				
大阪層群	Ma8層	No. 6層	50~100m	
	Ma7層			
	Ma6層			
	Ma5層	No. 7層		
	Ma4層			
	Ma3層			
	Ma2層	No. 8層		50~100m
	Ma1層			
	Ma0層			
Ma-1層	No. 9層	500~1000m		
基礎岩				

9層に帯水層を区分  
 連続した海成粘土層であり、  
 明瞭な難透水層

## 降雨データ収集状況

APHRODITE's Water Resources

APPRODITE's Water Resourcesプロジェクトは、開発国および途上国を対象としたアジア地域における気候変動の影響を評価するための日本企業からの支援による国際的な気候変動研究プロジェクトです。APPRODITE's Water Resourcesプロジェクトは、気候変動による気候変動の影響を評価するための日本企業からの支援による国際的な気候変動研究プロジェクトです。

http://www.chikyuu.go.jp/precip/index.html

それ以降のデータもある。  
 対象流域をメッシュ化(1km、5km)し提供頂く予定

## 流量データ収集状況

	1930's	1970's	2000's
Tokyo	日本河川協会：雨量・流量DB DVD購入済み 昭和13年(1938年)から平成15年まで		
Osaka	日本河川協会：雨量・流量DB DVD購入済み 昭和13年(1938年)から平成15年(2003年)まで 1938年2地点~2003年22地点		
Bangkok	手計さん(福岡大)：日流量1956年~1995年収集。過去どれくらいあるか連絡待ち 降雨データもかなり持っているらしい。1920年代もある？期待大。		
Jakarta	ロバートさんを通じて収集 市柳さん(熊大)の紹介でBMG(気象庁)のFadliさんを紹介してもらった。 現在河川流量データを収集していただいている		
Manila	カレンさんを通じてフェルナンドさんに依頼→フェルナンド先生が他の先生に依頼 カレンさんと田中さんが12月に選比しデータ収集？		
Seoul	Backjin Leeさんへ協力の依頼済み		
Taipei	Chung-Ho Wangさんへ協力依頼し、提供いただいている(1950~)		

## 気温データ収集状況

●: 収集済み, ○: 一部収集済み, ○: 収集可能, -: 未収集

	1930's	1970's	2000's
Tokyo	?	○月平均, 日平均	
Osaka	?	○月平均, 日平均	
Bangkok	?	○月平均, 日平均	
Jakarta	?	○月平均, 日平均	
Manila	?	○月平均, 日平均	
Seoul	?	○月平均, 日平均	
Taipei	?	○月平均, 日平均	

カレンさんからのデータ提供待ち  
 それを、APHRODITEの補完手法を用いてメッシュ化

## 揚水量データ収集状況

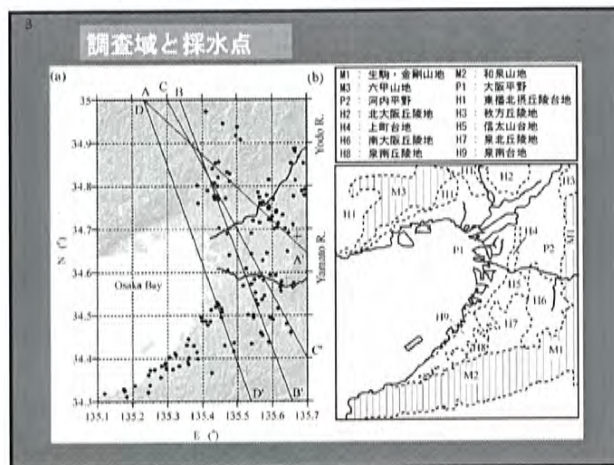
	社会経済	水班
Tokyo	1964~2002(金子)	1960- 井戸ごと(アンケート結果)
Osaka	1920~2005(金子)	1978- 市町村ごと
Bangkok	1954~2005(金子)	1997-2007@Bangkok province, 2002-2007@3 provinces 紙ベース 井戸ごと(提供待ち)
Jakarta	1979~1998(金子)	まだなし
Manila	1930~2000(金子)	カレンさんまち
Seoul	1995~2005(金子)	
Taipei	1954~1975(金子)	

ご提供して頂けると助かります

### 地下水データ収集状況

都市	水班	地下水準
Tokyo	1952-100 wells 現在の井戸数 Tokyo94, kanagawa73, ibaragi78, tochigi58, kanagawa2, 千葉20(けっこう多し)	藤井さんに大阪石飛君がコピーしてる
Osaka	1978-20wells 地盤環境に問い合わせ	
Bangkok	1978-2006 at max; 227 wells @75 locations	
Jakarta	1982-2005 at max; @32 locations 100wells(市街地)	
Manila	カレンさん待ち	
Seoul	Leeさんに依頼予定	
Taipei	Chang-hoouに依頼予定 HPIにある?	

各詳細モデル担当の方で地下水を収集済みの方は、あるいは、数値解析による結果をご提供して頂けると助かります



水収支式:

$$\frac{dS}{dt} = I - Q$$

■ Surface water  
 $P - I + Q_{in} - Q_{out} + Q_g - ET_s = \Delta S_s$

■ Groundwater  
 $I + G_{in} - G_{out} - Q_g - ET_g - W = \Delta S_g$

■ 地下水貯留量S<sub>g</sub>変化(m<sup>3</sup>/year)を地下水モデルから直接算出

$$S_g = \sum_{i=1}^n (n_i \times h_{g,i} \times D_i \times A_i)$$

$$\frac{dS_g}{dt} = S_g(n+1) - S_g(n)$$

$$\frac{d}{dt}(S_{sw} + S_{sg}) = (S_{sw} + S_{sg})^{n+1} - (S_{sw} + S_{sg})^n$$

S<sub>sw</sub>: Storage groundwater(m<sup>3</sup>)  
 S<sub>sg</sub>: Storage surface groundwater(m<sup>3</sup>)  
 S<sub>sg</sub>: Storage surface groundwater(m<sup>3</sup>)

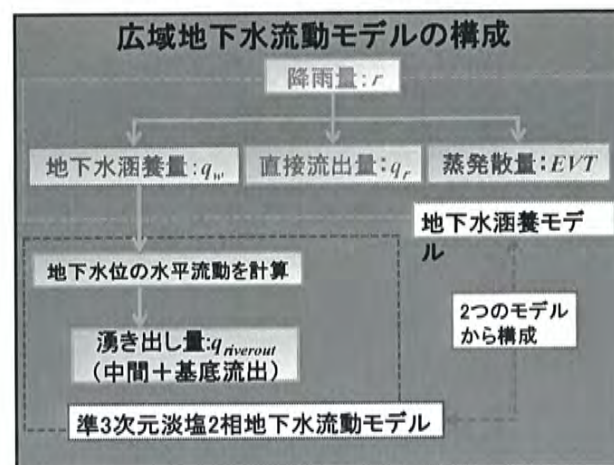
### 解析方法

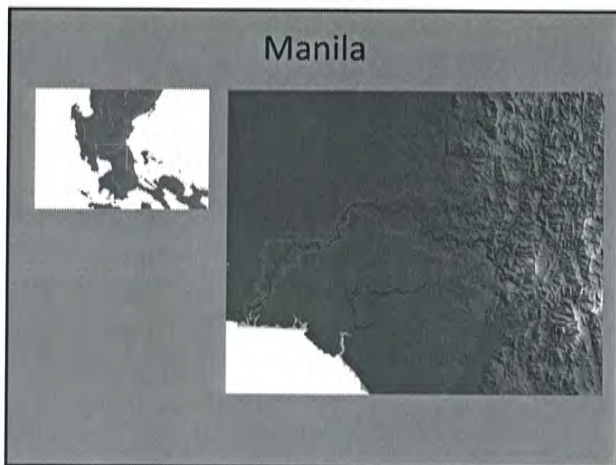
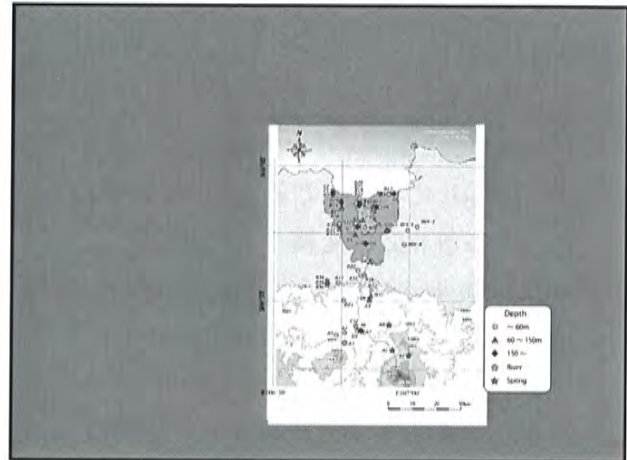
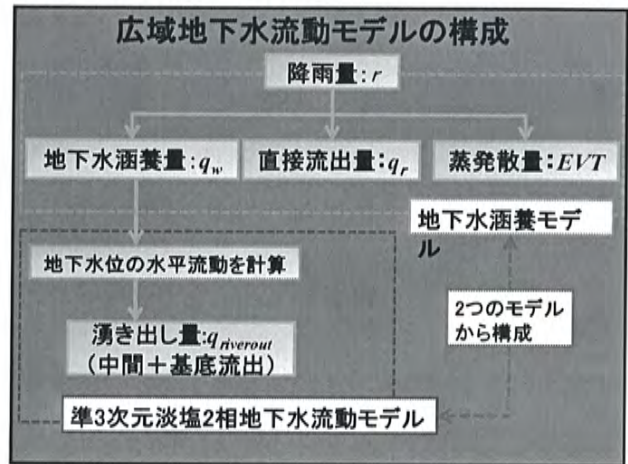
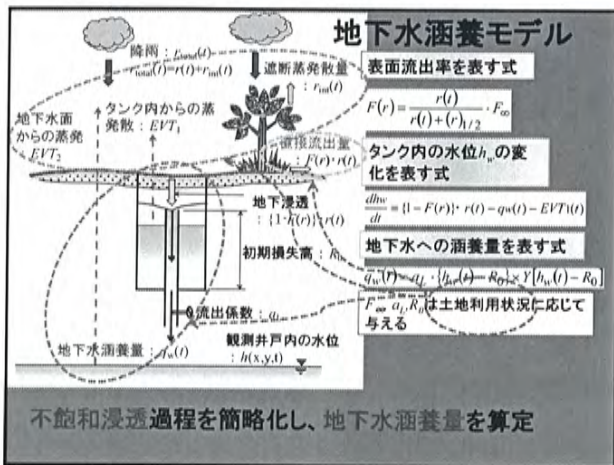
差分格子  
 dx=463.5m  
 dy=562.5m

地表面  
 淡水相  
 地下水涵養モデル  
 塩水相  
 地下水流動モデル

土地利用種  
 田  
 その他の農用地  
 森林  
 荒れ地  
 建物用地  
 幹線交通路  
 その他の用地  
 河川地及び湖沼  
 海岸  
 塩水  
 その他

- 有明海全集水域(8,075km<sup>2</sup>)を約500m×約500mに分割
- 各格子で土地利用条件, 地形標高などを考慮
- 解析対象期間: 2004年~2006年
- 時間雨量は計119点をティーセン分割により配分





1. はじめに

本稿では、クライアント側に高度な知識や効果的なソフトを必要としない Google Earth を利用し、データの公表方法について検討を行うこととする。このような簡易的、あるいは直感的に様々なデータを重ね合わせることが出来る公開方法は、多くのクライアントが利用可能となるだけではなく、地域住民の環境問題に関する関心の維持・向上に役立つものと考えられる。

2. 手法

本プロジェクトで作成されたデータを大別すると、地図などを代表とする面データと観測データや統計データなどを代表とする点データに分類される。これらのデータは、個々に座標を持った地理情報システムに対応可能なファイル形式であるが、これらのファイル形式は Google Earth に対応していないため、対応可能なファイル形式である KML に変換する必要がある。ここで KML (Keyhole Markup Language) とは、Google Earth や Google Maps に表示するポイント、線、イメージ、ポリゴン、およびモデルなどの地理的特徴をモデリングして保存するための XML 文法および XML ファイル形式である。本稿では ArcGIS9.2 の拡張機能である 3D analyst の機能を用いることによりプロジェクト間にて取得・作成を行った地理情報データの変換を行った。

3. データの公表例

本稿では一例として7都市のうち大阪を対象とし、都市化が顕著に見られた1970年代、2000年代の土地利用図と地下水位データの重ね合わせを行った。

4. 考察

図1に土地利用図上(1970年代、2000年代)の点データ(地下水位データ)をクリックすることにより時系列グラフが表示されるようにした図を示す。この土地利用変化と地下水位データ

を考察すると、中心市街地に近く周囲も含めて都市化が顕著に進行した Case1 の地域では、地下水位の低下が顕著に進行している様子が見取れる。しかしながら、Case1 と比べて中心市街地から遠く都市化の進行が緩やかな Case2 の地域では、地下水位の変動が顕著に表れない。図3のみでは詳細な理由を論じることが困難ではあるが、都市化による地表面被覆の改変が不浸透面を増加させたこと、河川・排水路整備などが要因の1つであることが土地利用図、地下水位データを重ね合わせるにより推測することが出来た。

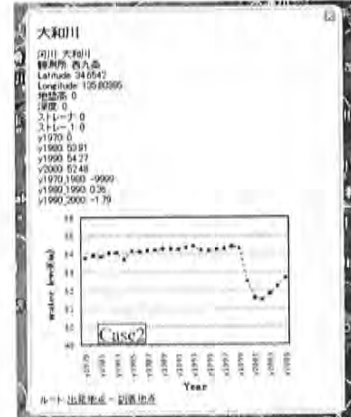
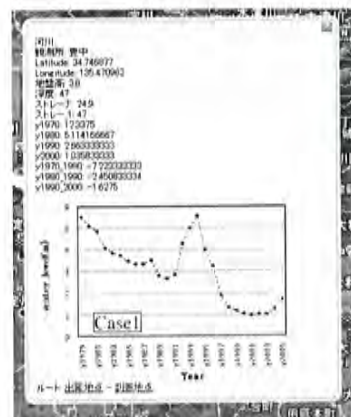
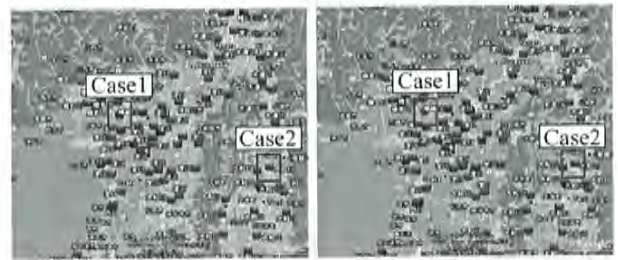


図1. 都市化前後(1970年代~2000年代)における地下水位変化(Case1:都市化が顕著な地域 Case2:都市化が緩やかな地域)



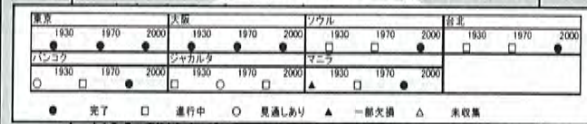
## 地球研・地下環境プロジェクト 全体会議(DB-WG)

霞ヶ浦:2008年11月9日

総合地球環境学研究所  
プロジェクト研究員 白木 洋平

## GIS WG

- 全員が利用する土地利用変化GIS(7都市3時代)



H20:残りすべて

- GISWGgroup→プロジェクトメンバー→一般公開  
Database WG (名称変更)
- プロジェクト終了後の公開の仕方も含めて議論

## 公開方法について

- プロジェクト⇒6つのサブグループ(社会経済班・都市地理班・水班・熱班・重力班・物質班)によって多角的視点で調査・研究  
⇒多くのデータが蓄積  
⇒一部を一般に公表

- DB-WGとして  
⇒重ね合わせて視覚的に比較できることが重要  
⇒費用対効果の面

## Google Earthの利用

- Google Earthを利用することで公表  
メリット: クライアント側に高度な知識や効果なソフトを必要としない(多くの人間が使用・閲覧可能)  
デメリット: 透過表示が出来ない(対面の組み合わせ負荷), レジェンド表示が出来ない

簡易的・直感的に様々なデータを重ね合わせることが出来る公開方法は、多くのクライアントが利用可能となるだけではなく、地域住民の環境問題に関する関心の維持・向上に役立つものと考えられる。

## 公開データについて

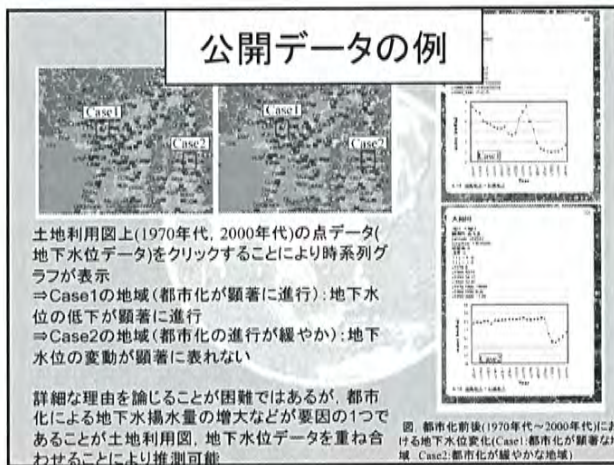
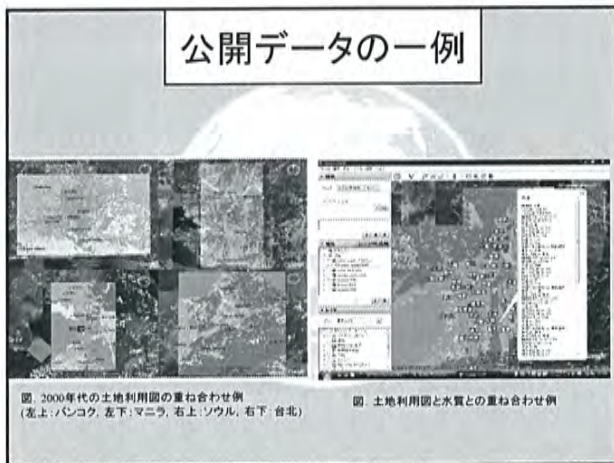
- Google Earth⇒衛星画像のベースマップ, 境界線(国境), 道路・地名情報など, 多くの情報を標準的に使用することが可能

- プロジェクトとしては……  
面データ(ベースマップ)  
⇒土地利用図(3時代), 人口密度図, 地形図(候補)  
点データ  
⇒気温データ, 地盤沈下データ, 地下水位変化データ, 地下水水質データ, 重力データなど

## データの変換

- 作成されたデータ  
⇒「地図などを代表とする面データ」「観測データや統計データなどを代表とする点データ」  
(個々に座標を持った地理情報システムに対応可能なファイル形式)⇒Google Earthでは未対応  
#KMLに変換することが必要!

#KML (Keyhole Markup Language) ⇒Google Earth や Google Mapsに表示するポイント, 線, イメージ, ポリゴン, およびモデルなどの地理的特徴をモデリングして保存するための XML 文法および XML ファイル形式



### まとめ

7都市(東京, 大阪, ソウル, 台北, バンコク, ジャカルタ, マニラ)の地理情報データの一般公開・利用を行うにあたり, 高度な技術や高価なソフトを必要としないGoogle Earthの有用性について検討。

- ①過去の土地利用変化と環境の時系列変化を重ね合わせるにより視覚的・直感的に理解可能であることが示唆された。
- ②このことから, 専門的な知識を持たない地域住民の環境問題に関する関心の維持・向上に役立つことが十分期待出来る。

### DB-WGメンバーへのお願い

- ①今後のデータ提供は……
  - #点データについては, 「経緯度・値」を…
  - #面データについては, 経緯度情報付のラスターデータで……

お願いします。
- ②データのKML化, Google Earthのより良い適用法について, ご意見・ご感想などあれば宜しくお願いします。

**Published by**

**Research Institute for Humanity and Nature (RIHN)**

457-4 Motoyama Kamigamo, Kita-ku, Kyoto 603-8047, Japan

Tel: +81-75-707-2100, Fax: +81-75-707-2106

URL: [http://www.chikyu.ac.jp/index\\_e.html](http://www.chikyu.ac.jp/index_e.html)

**Correspondence**

**Project Leader. Dr. Makoto Taniguchi**

E-mail: [makoto@chikyu.ac.jp](mailto:makoto@chikyu.ac.jp)

Tel: +81-75-707-2255, Fax: +81-75-707-2506

**Home page of RHIN project C-05**

<http://www.chikyu.ac.jp/USE/>

**ISBN: 978-4-902325-37-9**