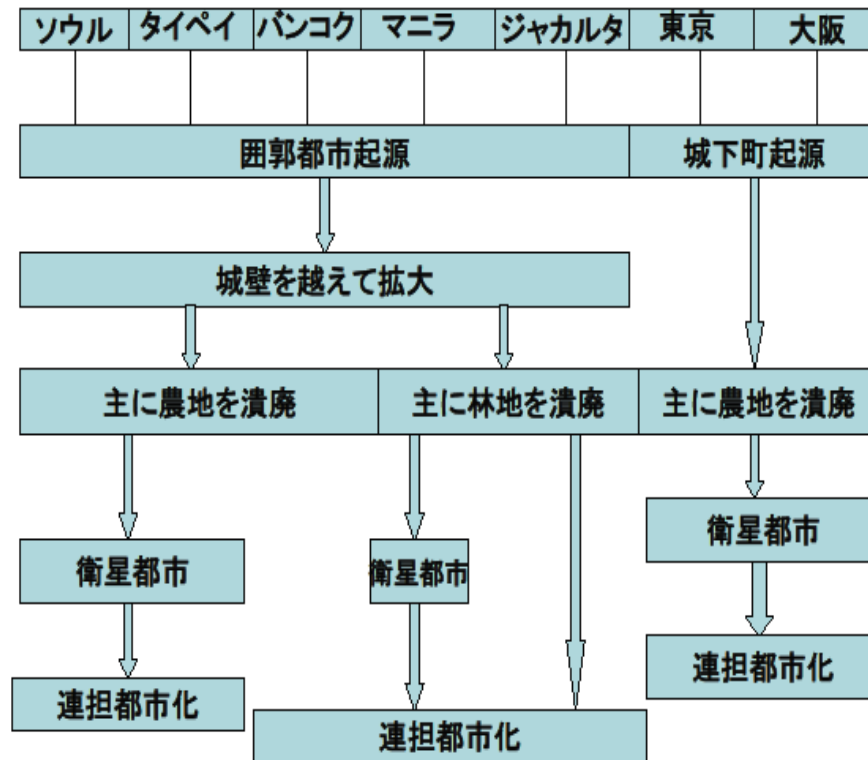


# 都市の発展モデル

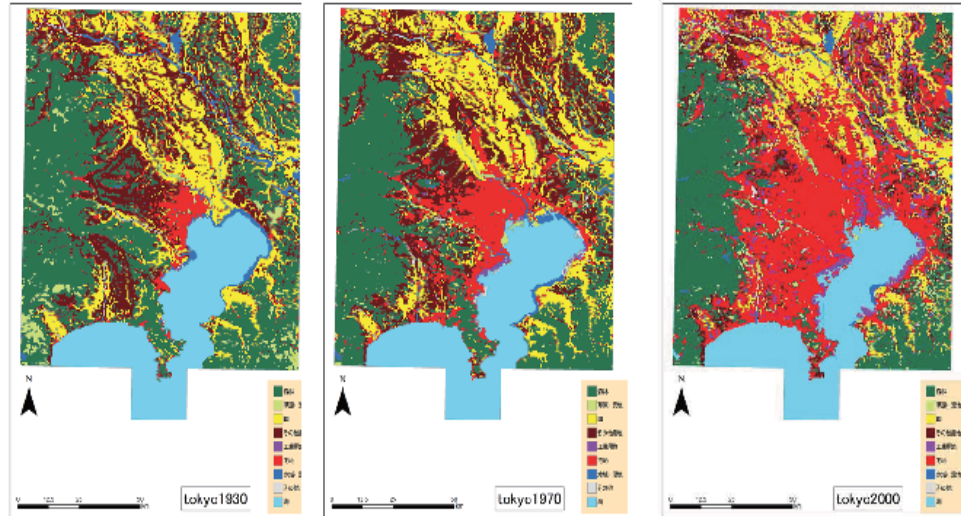
吉越 昭久(立命館大学)



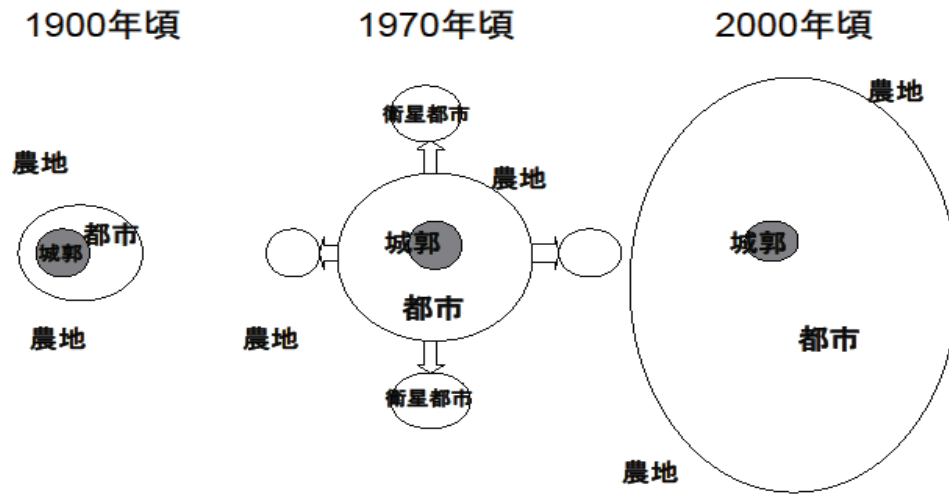
都市の発展過程

近代都市としてのアジアのメガシティの起源は、囲郭都市ないしは城下町にあった。それらの都市の成長に伴って、周辺にある農地や隣地を潰廃しながら都市域を拡大した。その過程においてバンコク、ジャカルタ以外の多くの都市は、衛星都市を形成しながら発展した。その後、これらの都市は拡大を続けた結果、衛星都市などを都市域に吸収しながら、連担都市化を引き起こし、まさにメガシティを形成していった。

これらの発展過程は、都市によって時期が異なり、早く変化した都市群から見ると、(東京・大阪)、(ソウル・台北)、(バンコク)、(ジャカルタ・マニラ)となり、これに伴う水環境問題もおなじような順序で発生してきたことが特徴といえる。



### 東京の土地利用の変遷

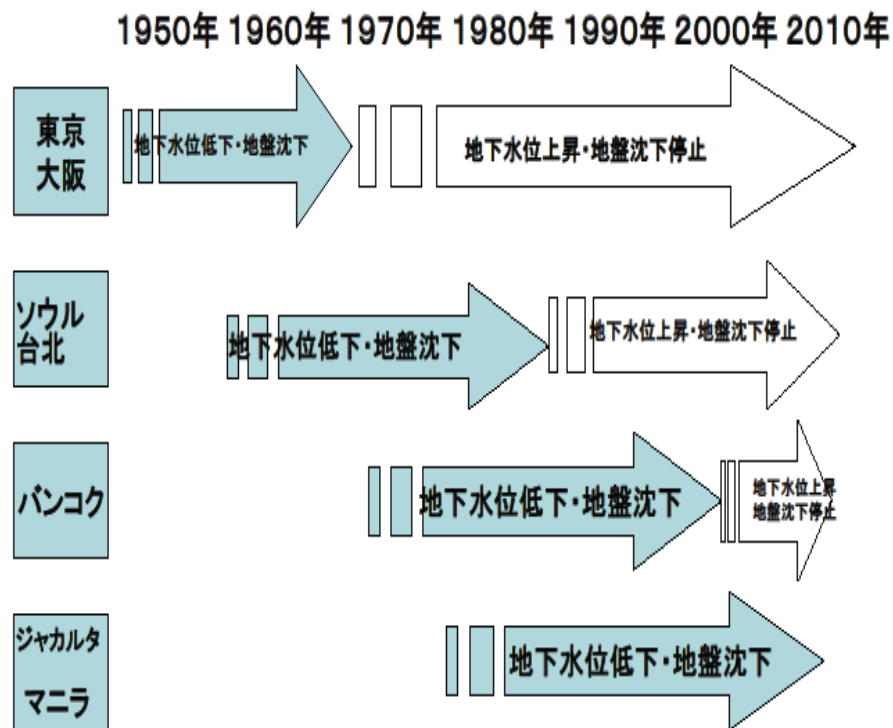


### 東京の都市発展モデル

都市の発展過程を詳細にみると、各都市によって、興味ある特徴がある。しかし、アジアのメガシティ同士で詳細に比較すると、非常に複雑になるので、3つの時期にわけて、単純化して比較を行うことにした。

まず、地形図から土地利用の変化を求め、GISによって地図化した。上の図がその結果であり、都市的な土地利用が急激に増加したことがわかる。次に、GISの地図とは若干時期が異なるが、3つの時期の都市の発展をモデル化して表現した。これが下の図である。こうすることで、各都市の発展過程の比較が容易になった。

その結果、対象とした全ての都市については、その発展過程には大きな違いが見られることがわかった。



### 各都市の地下水位低下・地盤沈下の終了時期

都市の発展に伴って、各都市ではいわゆる水環境問題が発生するようになった。水環境問題には多くの種類があるが、ここでは地下にかかわる2つの問題(地下水位低下と地盤沈下)に焦点を絞り、都市群ごとにいつ頃問題が起こり、いつごろから解決の兆しが見えたかを図示した。

東京・大阪において、最も早い時期に問題が起こり、早い時期に解決をみた。その後、各都市群ごとにおよそ20年の時間差をもって、同じような推移をみていることがわかった。

つまり、東京・大阪の経験を現在水環境問題が起こっている都市に適用すれば、水問題の発生を防いだり、より早い解決をみる可能性がある。

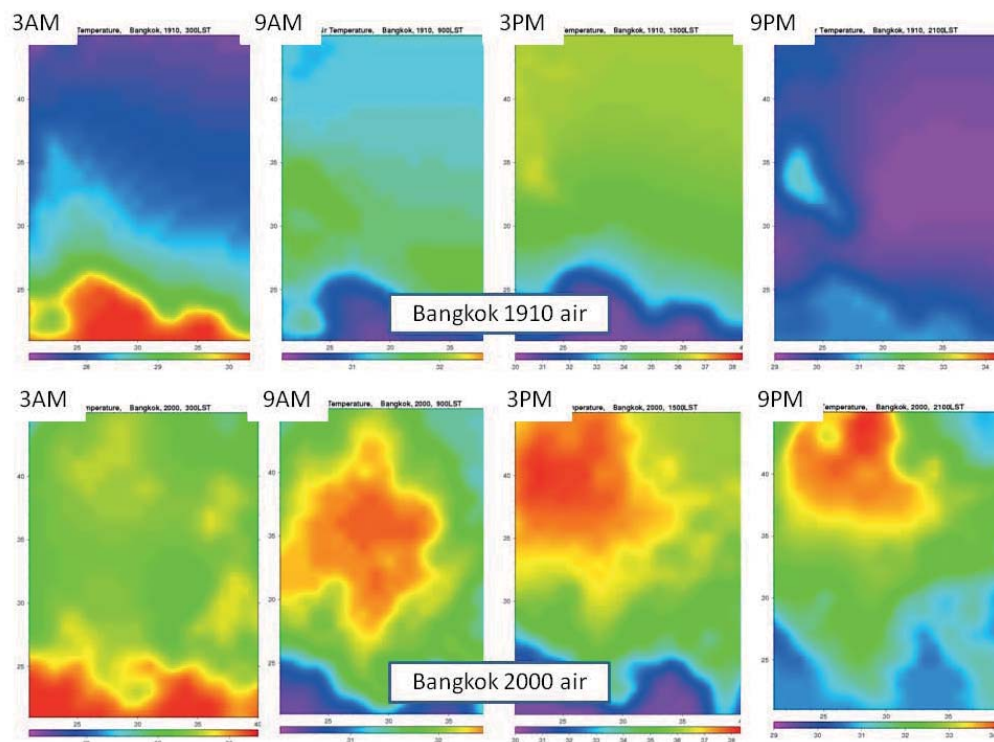
Akihisa Yoshikoshi, Itsu Adachi, Tomomasa Taniguchi, Yuichi Kagawa, Masahiro Kato, Akio Yamashita, Taiko Todokoro, Makoto Taniguchi : Hydro-environmental changes and their influence on the subsurface environment in the context of urban development, *Science of the total environment*407-9,3105-3111,2009.

吉越昭久: 都市域の水文環境研究の視点, *日本水文科学会*38—2 99-104,2008.

吉越昭久: アジアの都市発展と水環境変化、谷口真人編「アジアの地下環境—残された地球環境問題—」学報社, 67-88, 2010.

# アジアの7大都市における 都市温暖化の数値シミュレーション

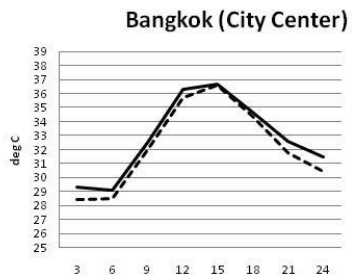
一ノ瀬 俊明(独立行政法人国立環境研究所)



バンコクにおける1910年と2000年の  
地上気温分布日変化

アジアの7大都市を対象に、20世紀における都市の拡大がもたらした都市の温暖化について数値シミュレーションをおこなった。これら7大都市における20世紀3時点のデジタル土地被覆データセットを地表面境界条件として気象モデルに入力し、数値シミュレーションで得られる地表面温度の変化傾向は、過去の地表面温度を記録していると考えられる地下温度の鉛直プロファイルとの比較材料として用いられる。

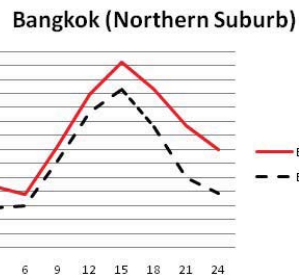




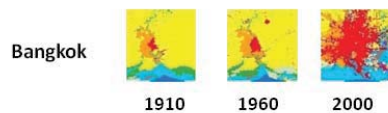
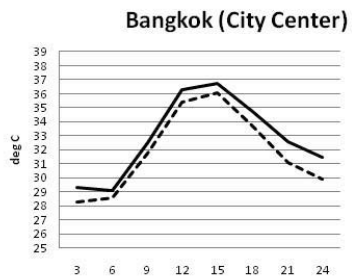
0.015 deg C/y (1960-2000)

0.011 deg C/y (1910-2000)

Air Temp. (surface)



0.050 deg C/y (1960-2000)



バンコクにおける3時点の地上気温日変化  
都心(1910年、1960年、2000年)および  
郊外(1960年、2000年)

後半の40年間については、都心で大きな変化が見られないのに対し、郊外では100年あたりで5°Cに相当する上昇がみられる。

20世紀前半と2000年との比較では、これらの都市の都心は2時点とも都市となっており、いずれの都市においても約1°Cの地上気温上昇が見られた。一方、20世紀中庸から2000年にかけて水田から都市への急激な変化を経験したバンコクの北の郊外(都心から見て風下)では、この期間に2~3°Cの地上気温上昇が見られた。ソウル、東京、大阪、バンコク、ジャカルタでは、海風の進入により、高温域が日中風下(内陸側)にシフトしていく様子が計算されている。

一ノ瀬俊明・原田一平・豊田知世(2010): Numerical simulations of recent urban warming in seven Asian mega-cities, 日本地球惑星科学連合大会, 千葉, 平成22年5月.

# アジアの都市発展と生活用水水源と 地下水利用の変化

谷口 智雅(立正大学)



防火・防災井戸(東京世田谷区)



ソウル梨花女子高内の井戸



バンコクWat内の井戸



台北市街地内の学校で保存・展示

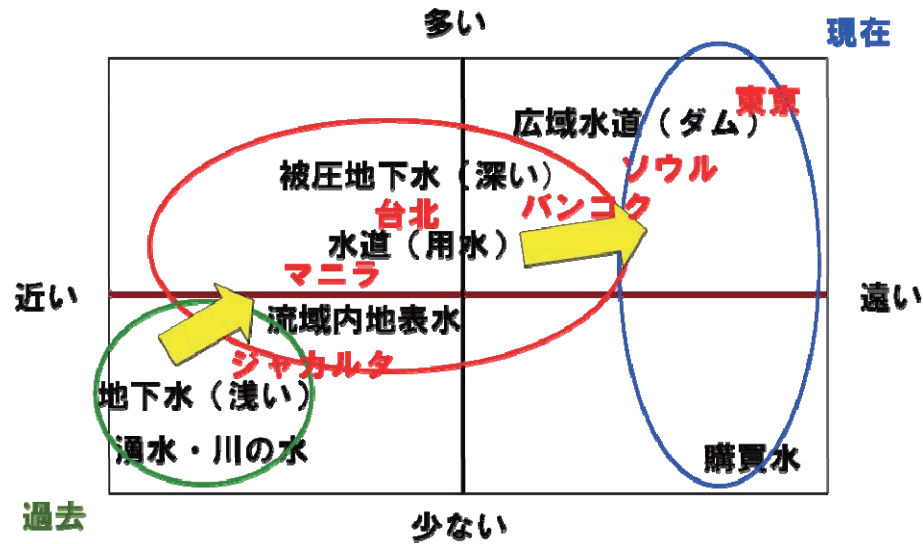


マニラ住宅地内の共同井戸



ジャカルタ家屋内の井戸

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各地域の都市では、水資源を確保するためその水源を各所に求めてきた。かつては身近にある河川・水路などの地表水、湧水や浅井戸などの地下水から生活用水を得てきたが、より深い所の地下水を汲み上げるため深井戸が掘削され、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、都市の発展とともに、「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と言える。



アジアの大都市の浅井戸は、特に開放井戸についてはその性質上存在する場所が限られていることからその数を減少させ、残されている井戸も利用目的・用途を変化させてきた。井戸の役割は都市によって異なっており、東京では都市化が進み各家庭に水道が普及しているが、地下水を含む井戸の役割が生活用水の水源地とは異なる役割を担う形で残っている。一方、急激な都市化が進んだソウル・台北や水路・運河が張り巡らされて表流水が常に近くにあるバンコクではその依存度は低い。ジャカルタ・マニラではまだ「近い水」を水源とする井戸が活用されている。

	生活飲料用	雑用	防火非常用	名跡名井
東京	×	○	○	○
ソウル	×	○	×	○
バンコク	×	○	×	×
台北	×	○	△	○
マニラ	△	△	×	△
ジャカルタ	○	△	×	×

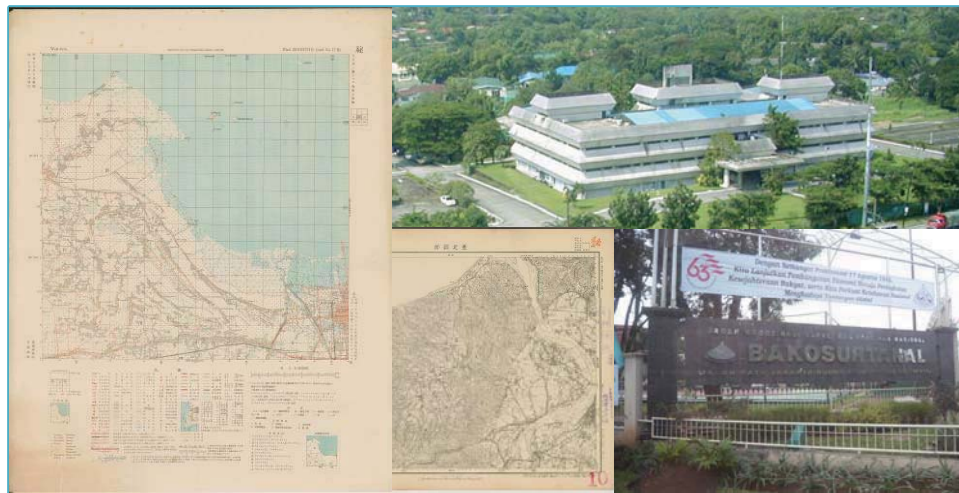
○:あり    △:ややあり    ×:なし

谷口智雅、都市における水の景観と水利用、『人と水 水と生活』45-75、秋道智彌・小松和彦・中村康夫編、勉誠出版



# アジア7都市における官製地形図の収集

香川 雄一(滋賀県立大学)・吉越 昭久(立命館大学)・安達一(国際協力機構)・谷口 智雅(立正大学)・加藤 政洋(立命館大学)・山下 亜紀郎(筑波大学)・戸所 泰子(立命館大学)・谷口 真人(総合地球環境学研究所)



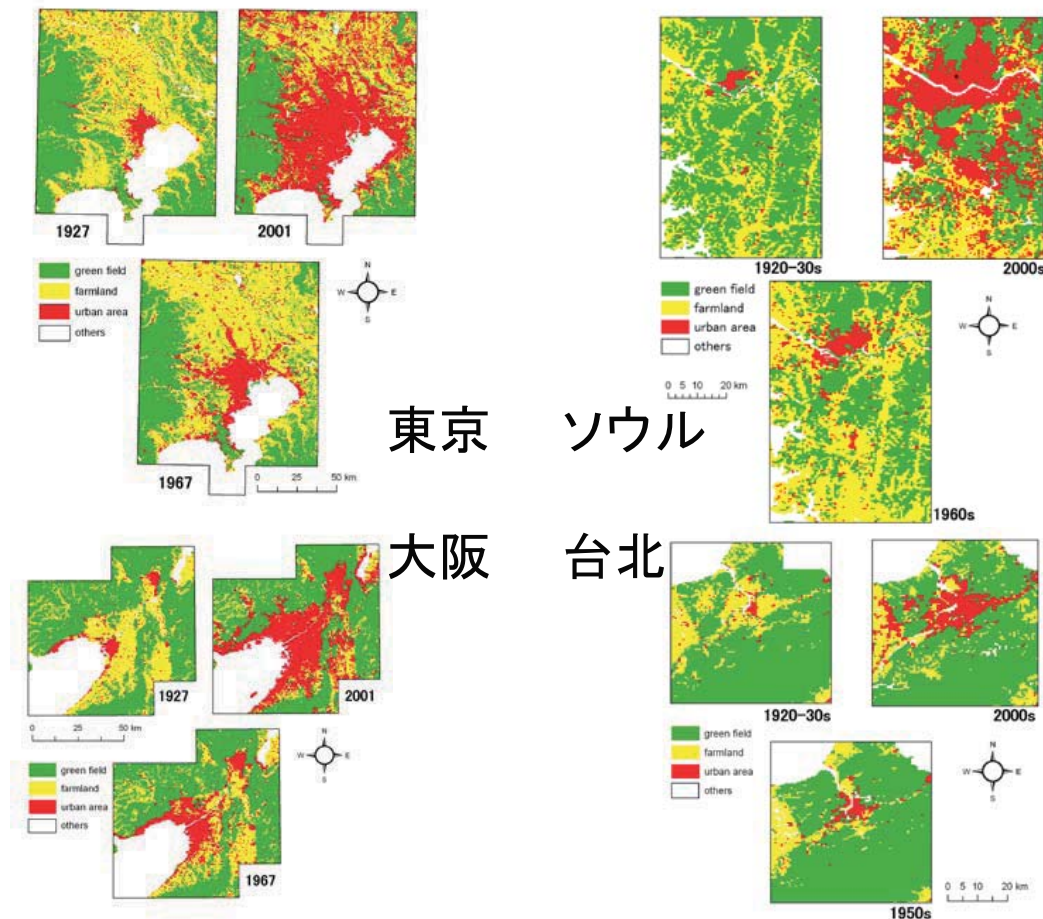
アジア7都市における都市化の歴史を分析するに当たって、各国の官製地形図を収集した。第二次世界大戦以前や1960～1970年代の地形図は日本国内にも保存されている。現在の官製地形図は各国の地図発行機関でメンバーが収集してきた。

Akihisa Yoshikoshi, Itsu Adachi, Tomomasa Taniguchi, Yuichi Kagawa, Masahiro Kato, Akio Yamashita, Taiko Todokoro and Makoto Taniguchi (2009) Hydro-environmental changes and their influence on the subsurface environment in the context of urban development. *Science of The Total Environment*, 407-9, pp.3105-3111.

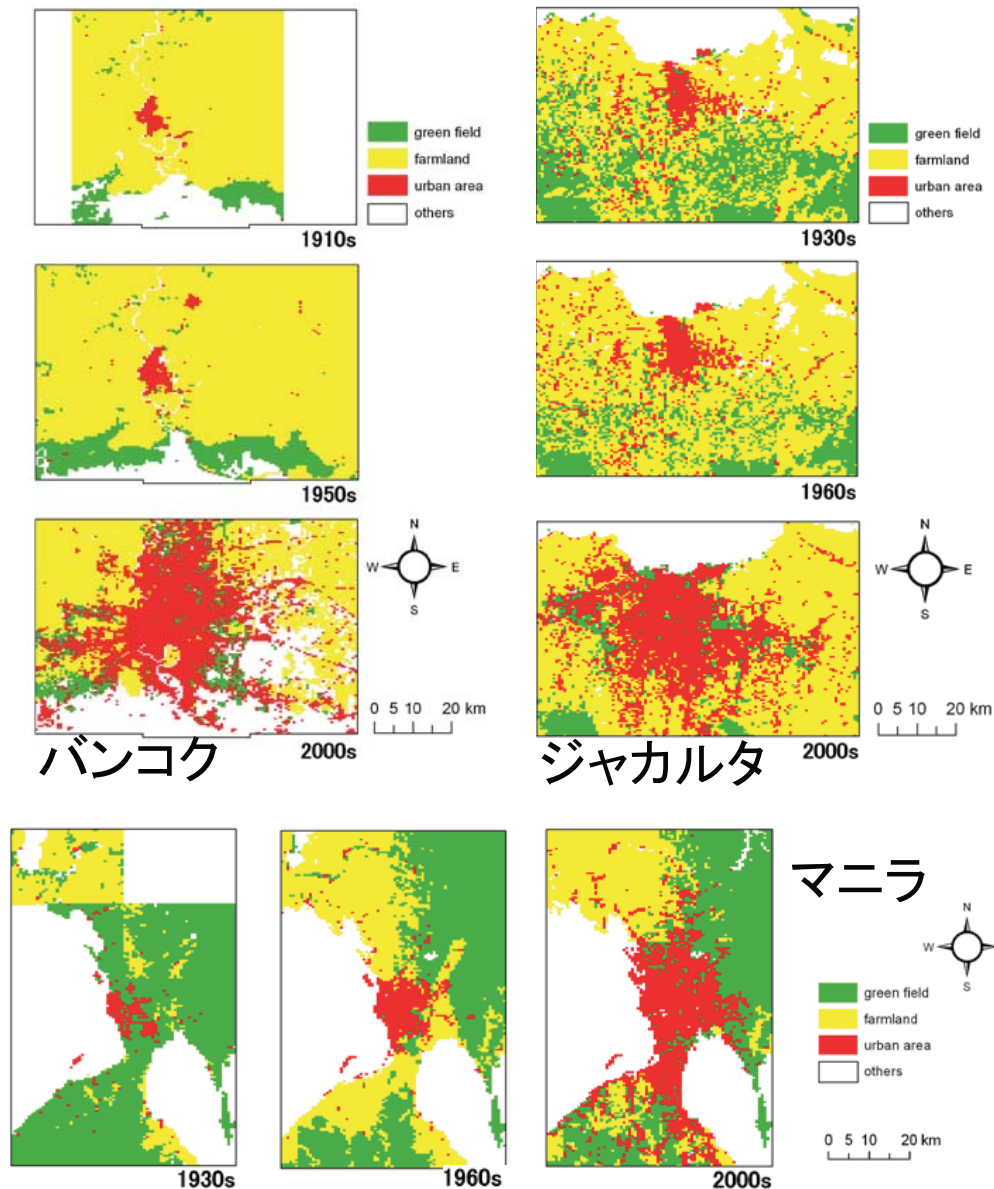


# 7都市3時期における土地利用メッシュデータの作成

山下 亜紀郎(筑波大学)



アジアのメガシティにおける都市化・工業化の進展と、それによって引き起こされる種々の都市環境問題についての都市間比較を行う指標として、土地利用メッシュマップを作成した。各都市各時期における縮尺5万分の1の官製地図(一部異なる)を入手し、基図として用いた。1メッシュのサイズは1/2細分区画(約500m)とした。

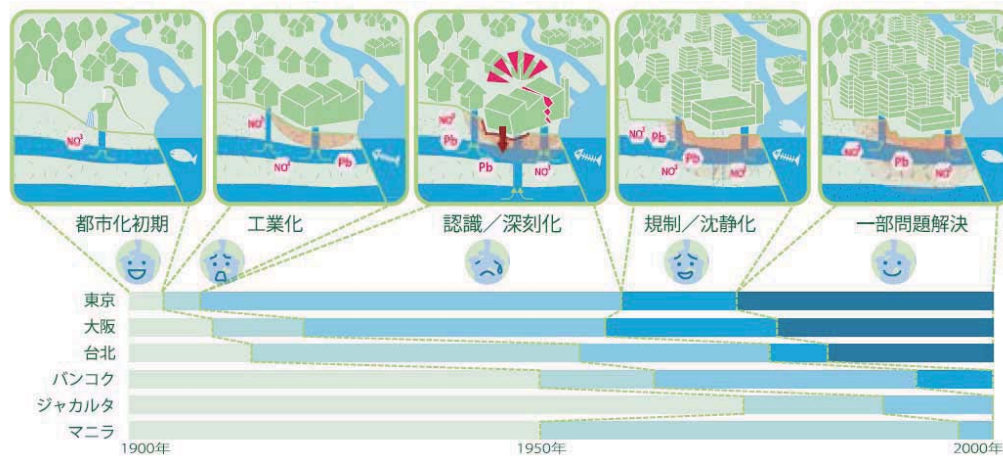


土地利用項目は、「森林」(針葉樹, 広葉樹, 竹林), 「草原・荒地」(公園, 人工緑地, ゴルフ場を含む), 「田」, 「その他農地」(畑, 果樹園, 牧草地), 「工業用地」, 「宅地」(工業用地以外の都市的土地利用), 「水域・湿地」, 「その他」(造成地, 未利用地など), 「海」の9つとし, 画像データ化した官製地図とメッシュマップをGIS上で重ねて, 各メッシュ内でもっとも卓越する項目を目視判読し, 属性データとして入力した.

- Yamashita, A. “Comparative analysis on land use distributions and their changes in Asian mega cities. In Groundwater and Subsurface Environment –Human Impacts on Urban Subsurface Environment in Asia–, Springer. (in press)
- 山下垂紀郎・阿部やゆみ(2010)「アジアのメガシティにおける官製地図からの土地利用判読の問題点とその対応」『酪農学園大学紀要人文・社会科学編』35, 15-27.

# アジアメガシティにおける都市化と地盤沈下: 指標分析を用いたアプローチ

豊田知世(国際協力機構研究所)・金子 慎治(広島大学)



7都市の発展と地下環境への影響を定量的に評価するため、観測・収集データを統合し、共通した指標・分析方法を用いて比較分析を行います。左図は東京を基準にした地盤沈下問題に対するステージを表します

東京をベンチマークに、アジアメガシティの発展段階と地盤沈下の特徴を、図にまとめた。東京、大阪、台北は、地盤沈下を認識し、地盤沈下対策を講じているため問題は解決している。バンコクは問題認識後、地下水課税などで対策を講じた結果、地下水位は回復しており、問題解決に向かっている。ジャカルタとマニラでは、地盤沈下のモニタリング体制も整っておらず、地盤沈下の実態が把握できていない。そのため、工業地帯や沿岸地域を中心に、地盤沈下が深刻化しており、早急な対策が喫緊の課題である。

Karen Ann B. Jago-on and Shinji Kaneko (2008) "Long-term urban growth and water demand in Asian mega-cities" From *Headwaters to the Ocean, Hydrological Changes and Watershed Management*, pp.483-489.

Karen Ann Bianet Jago-on, Shinji Kaneko, Ryo Fujikura, Akimasa Fujiwara, Tsuyoshi Imai, Toru Matsumoto, Junyi Zhang, Hiroki Tanikawa, Katsuya Tanaka, Backjin Lee, Makoto Taniguchi. "Urbanization and subsurface environmental issues: An attempt at DPSIR model application in Asian cities." *Science of the Total Environment*, vol.409, pp.3089-3104.

Kaneko, S. and T. Toyota(2011) "Long-term urbanization and land subsidence in Asian megacities: An indicators system approach", *Groundwater and Subsurface Environment*, Springer.(in press)

金子慎治・豊田知世(2010)「都市の経済発展と地盤沈下」、谷口真人編『アジアの地下環境』、学報社、37-65



# 都市間比較モデル

安元 純(琉球大学)・山中 勤(筑波大学)・愛知正温(東京大学)・利部 慎(熊本大学)

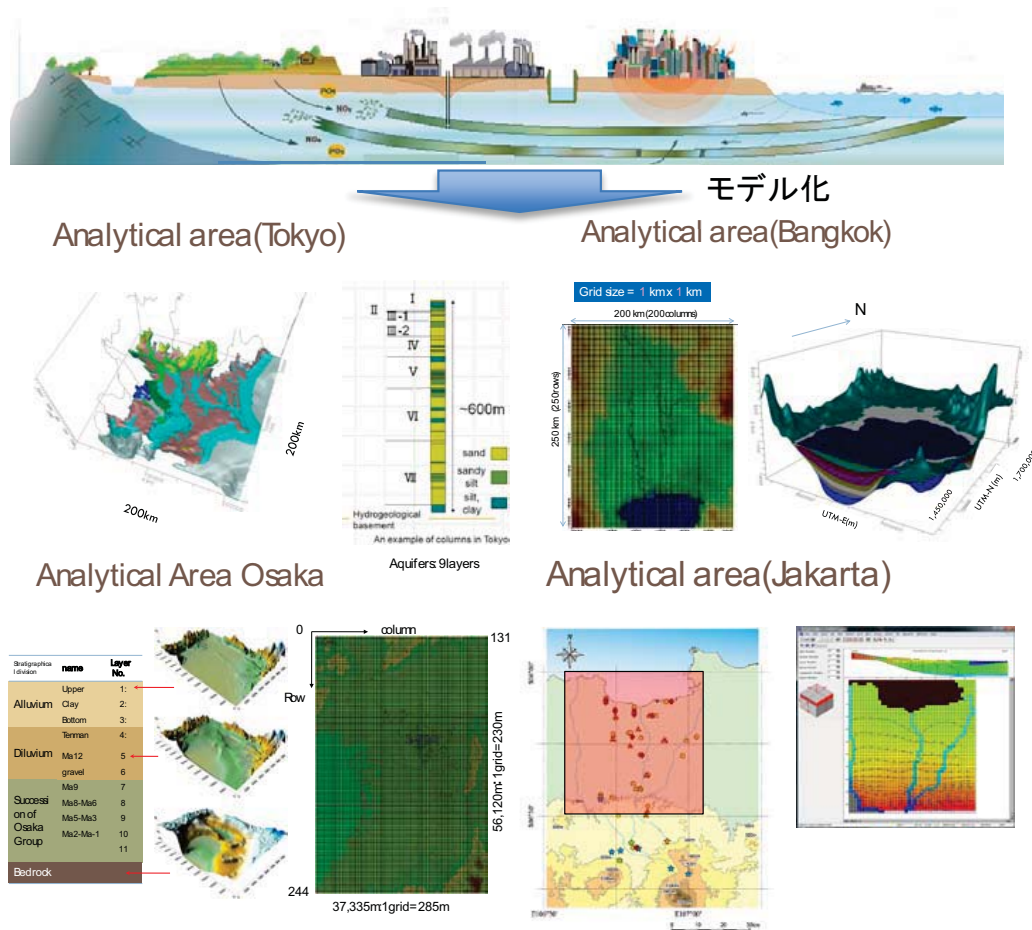


図1 4都市の地下水流動のモデル化

本プロジェクト内の各班でそろいつつある観測・収集データを統合するため、モデルワーキンググループ(モデルWG)を立ち上げ、各都市を比較する枠組みと地下水流動モデルの共通指標を決定した。

東京、大阪、バンコク及びジャカルタの4都市で実施した地下水流動解析から共通指標を抽出し、人為要因や自然要因の影響を、急激な人間活動が始まった1930年代から2000年現在にかけて定量的に比較評価した。



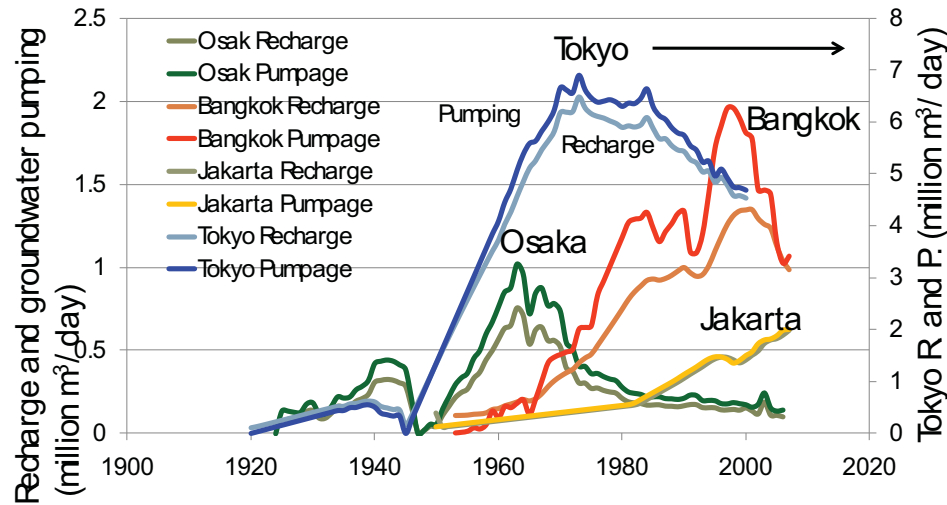


図2 地下水涵養量と地下水揚水量

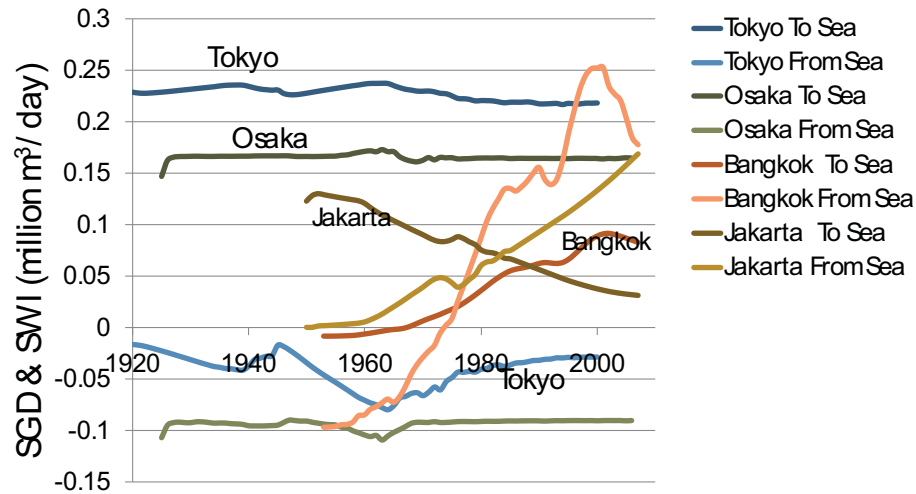
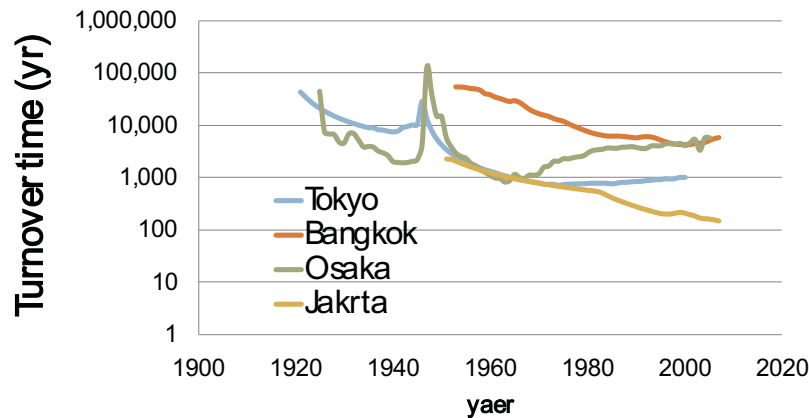


図3 地下水流出量と地下水流入量

図2に地下水涵養量と地下水揚水量を示した。東京や大阪では戦後(1945年以降)の経済成長とともに、地下水の揚水量が急激に増加し、揚水に伴う地下水の誘発涵養量も併せて増加している。大阪では地盤沈下等の地下水問題が1960年代から顕在化したことから、他の都市に先駆けて地下水の揚水基準が設けられた。そのため、工業・農業水の水源がダム等の表流水に切り替わり、地下水の揚水量も早くに低下している。同じく東京も、1970年代には地下水の揚水規制が設けられ、揚水量は徐々に低減している。その30年後の2000年にはバンコクで揚水規制が設けられたが、ジャカルタでは揚水規制が進んでおらず、現在も揚水量は増加しており、地盤沈下等の地下水問題が深刻な社会問題となっている。

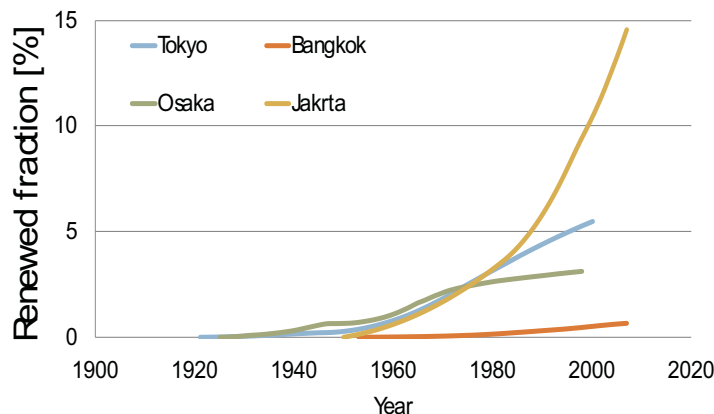
図3に地下水流出量と地下水流入(海水侵入)量を示した。東京と大阪は、地形勾配が比較的きつく、地下水流出量が地下水流入量に比べて常に大きな値を示し、地下水の揚水量が最大だった期間においても両者の逆転は見られない。一方で、バンコクとジャカルタでは、地形勾配が比較的緩く、揚水量の増加に伴い地下水流出量に比べ地下水流入量が大きくなる現象がみられる。これは、揚水量の増加に伴い地下水位が低下したことから、帯水層へ海からの海水侵入が増加していることを示している。



$$\tau = S/Q$$

S: Storage capacity(m<sup>3</sup>)  
Q: Recharge (m<sup>3</sup>/ year)

図4 地下水の滞留時間



$$\alpha = \frac{\int_0^t Q}{S}$$

S: Storage capacity(m<sup>3</sup>)  
Q: Recharge (m<sup>3</sup>/ year)

図5 地下水の入れ替え率

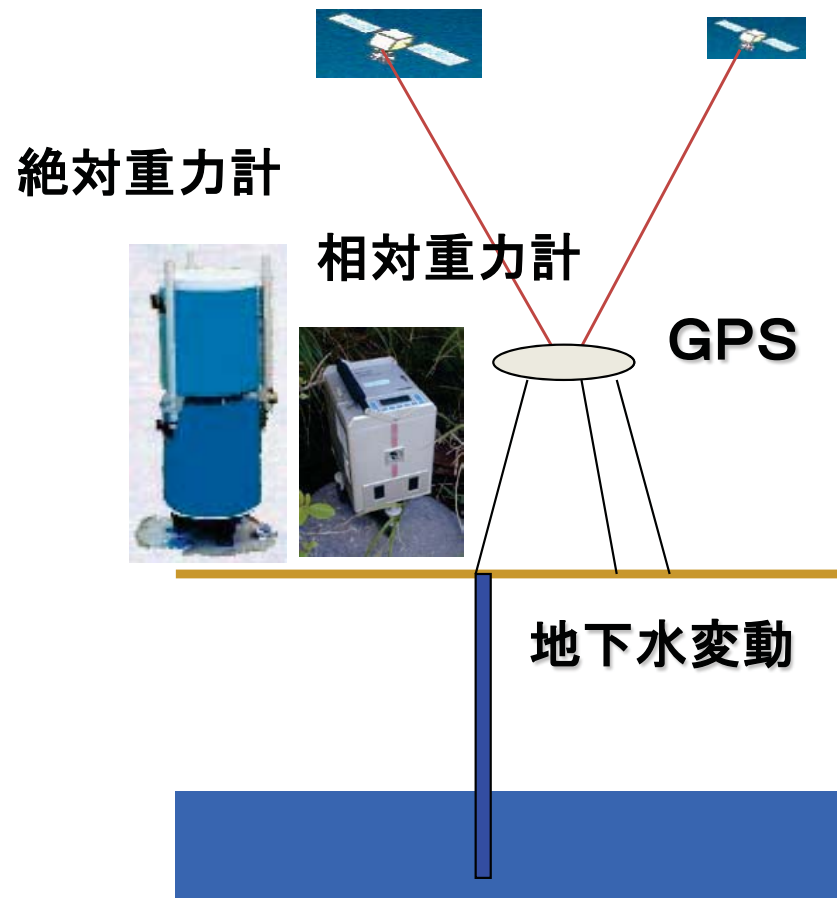
図4には地下水の滞留時間を示している。この地下水の滞留時間は、地下水貯留量を地下水モデルで計算された地下水涵養量の年平均値で除したものである。各年とも地下水の揚水量の増加に伴い、地下水の誘発涵養が増加し、地下水の滞留時間も10から100分の1のオーダーで減少している。

図5には地下水の入れ替え率を示している。この地下水の入れ替え率は、地下水涵養量の積算値を地下水貯留量で除したものである。ジャカルタは帯水層の規模が小さく、地下水の入れ替え率が2000年には15%に達しており、過剰な揚水とそれに伴う誘発涵養により古い地下水から若い地下水に入れ替わりが顕著にみられる。このことは、地下水年代を推定するトレーサー物質の分析結果とも一致している。一方で、バンコクは、帯水層の規模が大きく、東京に次いで揚水量が多いものの、地下水の入れ替え率は2%程度である。

つまり、各都市の帯水層の持つ構造的な特徴が、単純な地下水揚水量の多少だけではなく、地盤沈下や地下水の塩水化等の地下水問題に対して大きな影響を及ぼしていることがわかる。

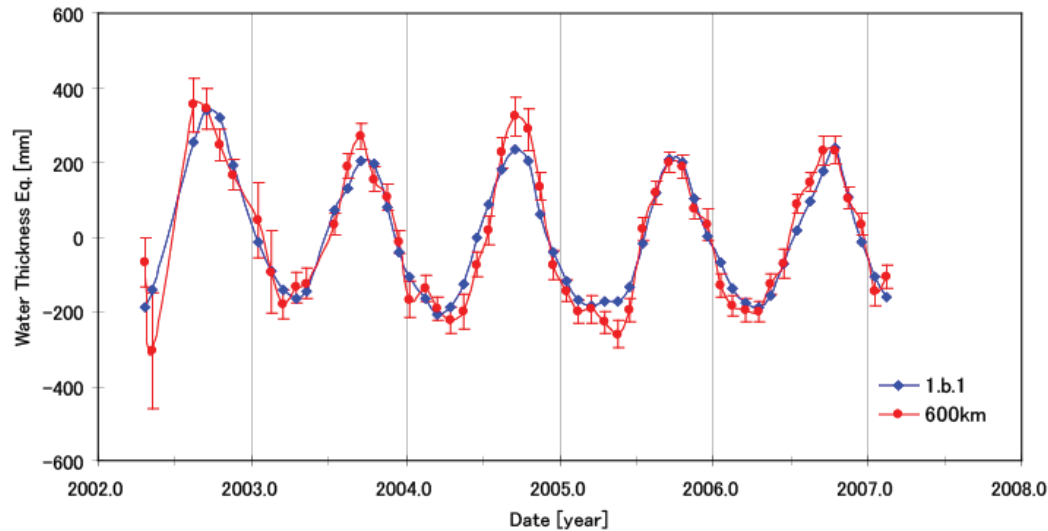
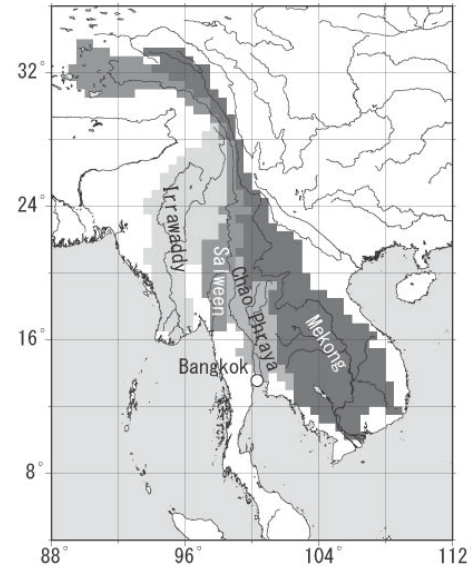
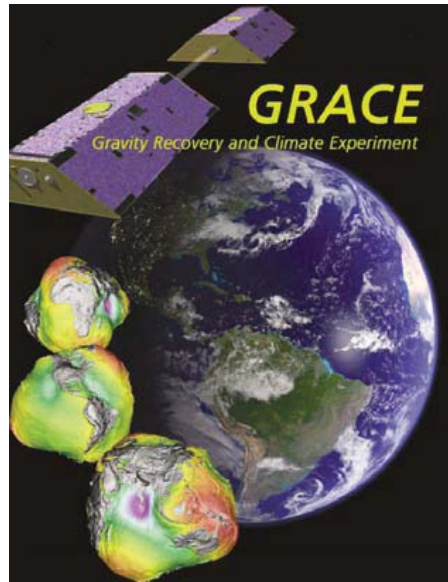
# 地上・衛星重力測定による地下水変動 モニタリング

福田洋一(京都大学)・西島潤(九州大学)山本圭香(総合地球環境学研究所)・  
仲江川敏之(気象研究所)・長谷川崇(京都大学)



地下水変動で地下の質量分布が変わると、重力が変化するのは当然である。また重力変化は、質量変化の積分値なので、水位観測とは異なった情報を与えてくれる。一方、重力は地面の高さ変化でも変わるし、また、地下水変化が高さ変化を引き起こすこともある。

地下水位の測定に、GPSでの高さ測定や、絶対重力計、相対重力計による重力測定を組み合わせることで、変動の詳細な情報を得ることができる。



GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment)衛星では、地球重力場を極めて高精度で測定できるようになり、地球内部あるいは地球上で生じているさまざまな現象を質量変化として検出できるようになった。

GRACEデータを使うことで、右上図に示すインドシナ半島の河川流域での水質量の季節変化を捉えることができた。下図では、GRACEで測定した水質量変化(赤線)と陸水モデルから計算した変化(青線)が示されているが、両者は良く一致している。GRACEにあうようにモデルのパラメータを調整できるので、GRACEは、陸水モデルの改良に役立っている。

Fukuda Y, Yamamoto K, Hasegawa T, Nakaegawa T, Nishijima J, Taniguchi M (2009) Monitoring groundwater variation by satellite and implications for in-situ gravity measurements, *Science of the Total Environment*, 3173–3180, doi:10.1016/j.scitotenv.2008.05.018.