

バンコク -BANGKOK-

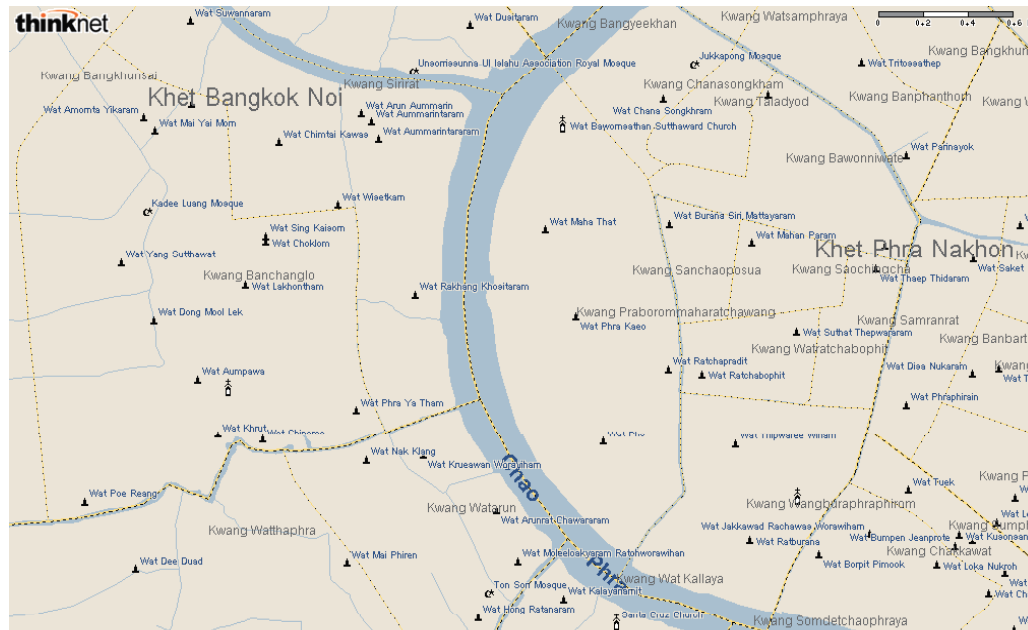
都市としてのバンコク

18 世紀に、チャオプラヤ川の島から発達したバンコクは、1970 年代から急速な経済成長を遂げており、もともと農村だった土地は住宅地へと変わり、都市部は商業施設が集積しています。1900 年には 60 万人だった人口は、2005 年までに 567 万人にまで拡大しました。道路と運河が主な交通手段と利用されている一方で、鉄道網の整備が遅れており、都心部の慢性的な交通渋滞が問題となっています。



バンコクにおける都市化とその特徴

香川 雄一(滋賀県立大学)



バンコクは人口増加による都市化と都市域の拡大を経験してきた。バンコク中心部における寺院の立地と運河網との関係から、生活空間と水環境との関係の深さを指摘できる。

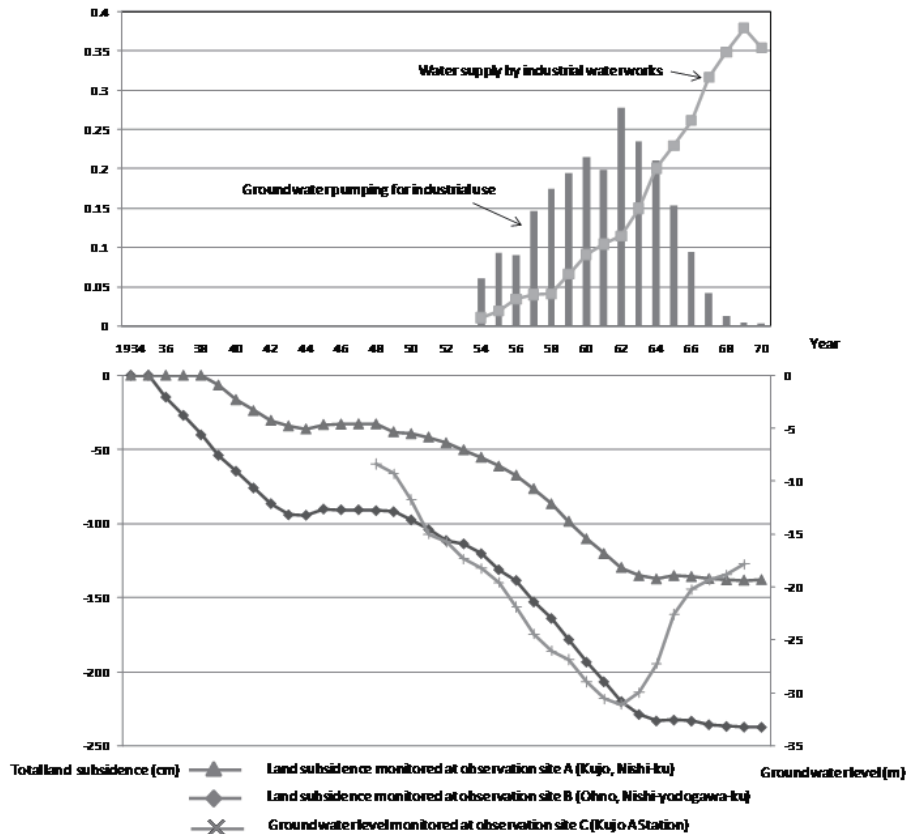
地区別の世帯数と寺院数の相関関係はイスラム教やキリスト教と比べて仏教が高い。バンコクにおいて寺院の立地は都市の重要な構成要素である。

Yuichi Kagawa (2009) 'Urbanization in Asian Metropolis and the Changes of hydrological environment in and around Bangkok' M. Taniguchi, W. C. Burnett, Y. Fukushima, M. Haigh & Y. Umezawa (Eds.) "From Headwaters to the Ocean: Hydrological Changes and Watershed Management" Taylor and Francis. 577-582.

地盤沈下対策

遠藤 崇浩(筑波大学)・金子 慎治(広島大学)・
Karen Ann Jago-on(総合地球環境学研究所)

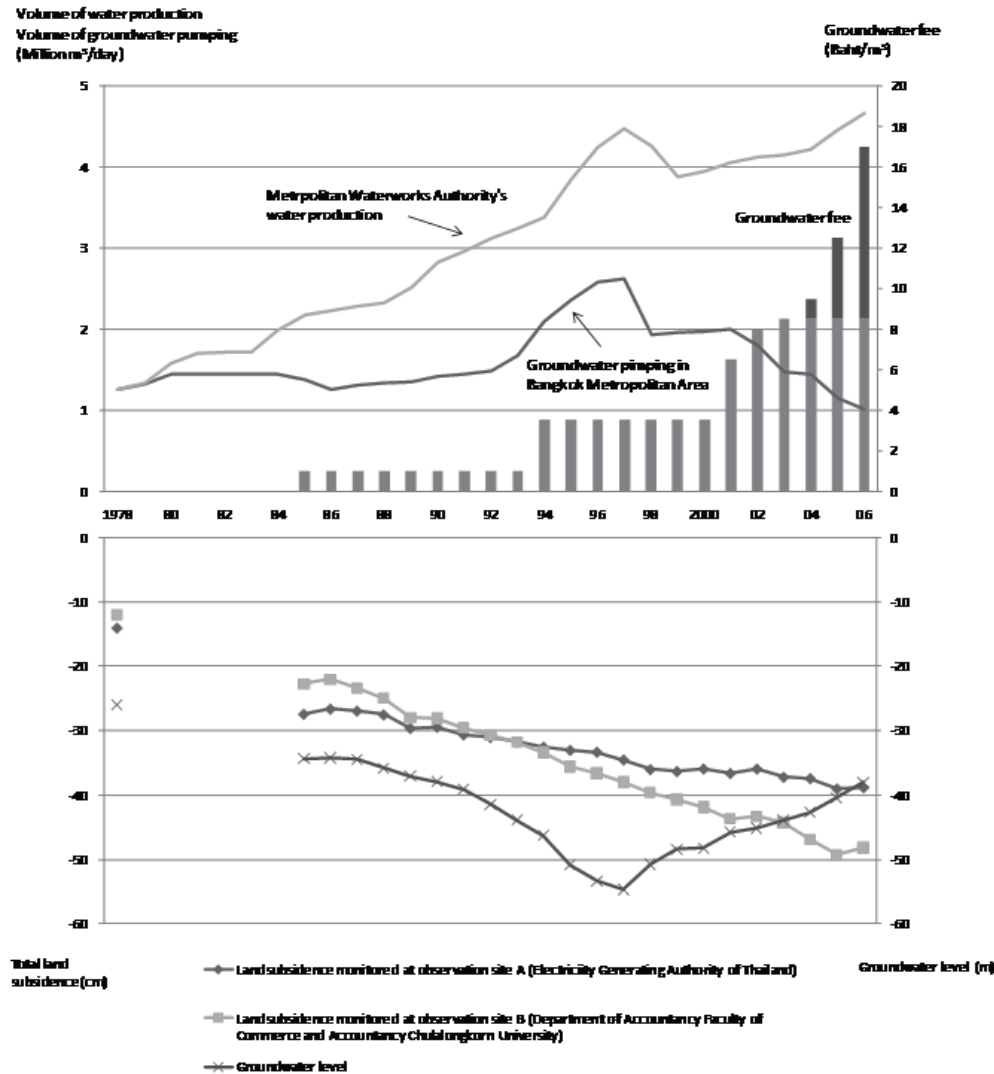
Volume of water supply by industrial waterworks
Volume of groundwater pumping for industrial use
(Million m³/day)



大阪市の地盤沈下対策

大阪市では地下水は主に工業用途に用いられていた。市で地盤沈下が問題視されたのは1934年の室戸台風による高潮被害がきっかけである。その後、1956年の工業用水法、1962年の工業用水法の一部を改正する法律と建築物用地下水の採取の規制に関する法律などによって上水道網が整備され、地下水から地表水への水源転換が進んだ。これの方策により地盤沈下は鎮静化した。

バンコク都の地盤沈下対策



バンコク都では1970年代後半の調査によって、都市東部および東南部で急速な地盤沈下が起きていることが判明し、治水対策への悪影響が懸念された。その原因は工業用地下水の過剰汲み上げにあった。これに対して1977年の地下水法を皮切りに、地下水汲み上げ規制地域の創設、地下水の代替資源たる上水道網の普及、地下水料金制度の導入によって地盤沈下の鎮静化に成功した。特に地下水料金制度は大阪市の対策に見られないバンコク都特有の対応策である。

Takahiro Endo, "Sinking Cities and Governmental Action— Institutional Responses to Land Subsidence Problem in Osaka and Bangkok" in M. Taniguchi ed. *Groundwater and subsurface environment in Asia*, Springer, 近日公刊。

遠藤崇浩「地下水管理における政府の役割—バンコクの地盤沈下問題を事例に—」『日本水文科学会誌』 近日公刊。

都市化による地下水涵養量への影響

田中勝也(滋賀大学)

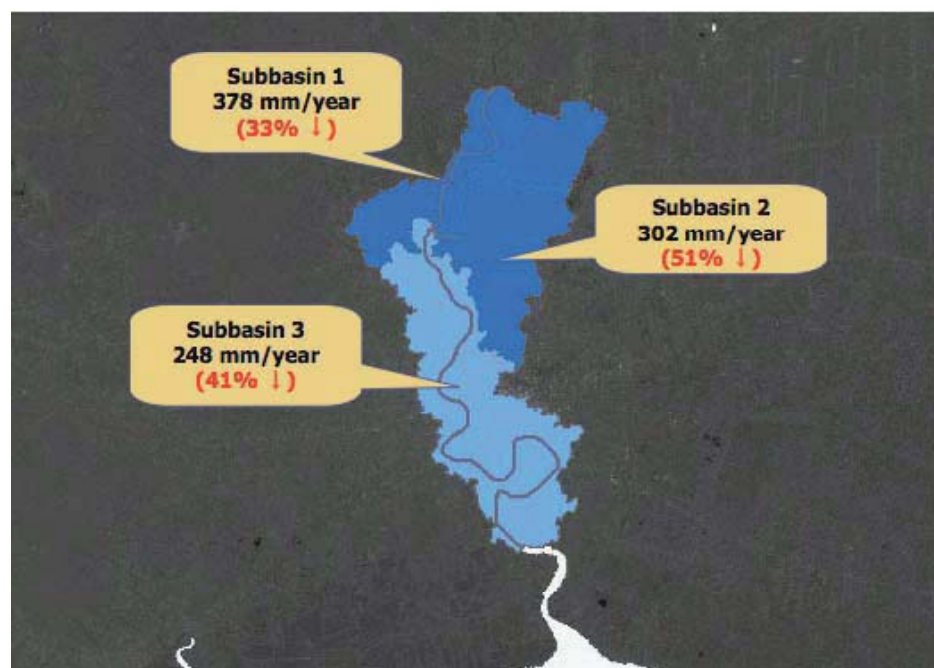


図1. バンコクにおける地下水涵養量の変化
(1960-2000年)

バンコクでは地下水量の現象が1960年代以降顕著となったが、その原因の1つとして急速に進展した都市化による地下水涵養量の変化が指摘されている。そこで本研究では、1960～2000年の土地利用変化が涵養量に与えた影響をSoil and Water Assessment Tool (SWAT)により分析した。

SWATモデルによる分析の結果、都市化の進展により地下水涵養量の顕著な現象が裏付けられた。ただし、その影響の度合いは都市化の状況や土壌特性・傾斜などにより、地域によって大きく異なることが示された。

バンコクの地下水

産業・生活用水としての地下水の需要が非常に高い一方、「水上都市」と呼ばれるような低湿地地帯にあるために、過剰な地下水のくみ上げによって深刻な地盤沈下が occurred。しかし国際的にも珍しい取り組みである「地下水税」や「地下水保存税」といった、地下水に対する課税制度を導入したことで、問題は収束しつつあります。



地下水涵養量の長期的変化の 3次元シミュレーション

山中 勤(筑波大学)・三木田 慎(筑波大学)

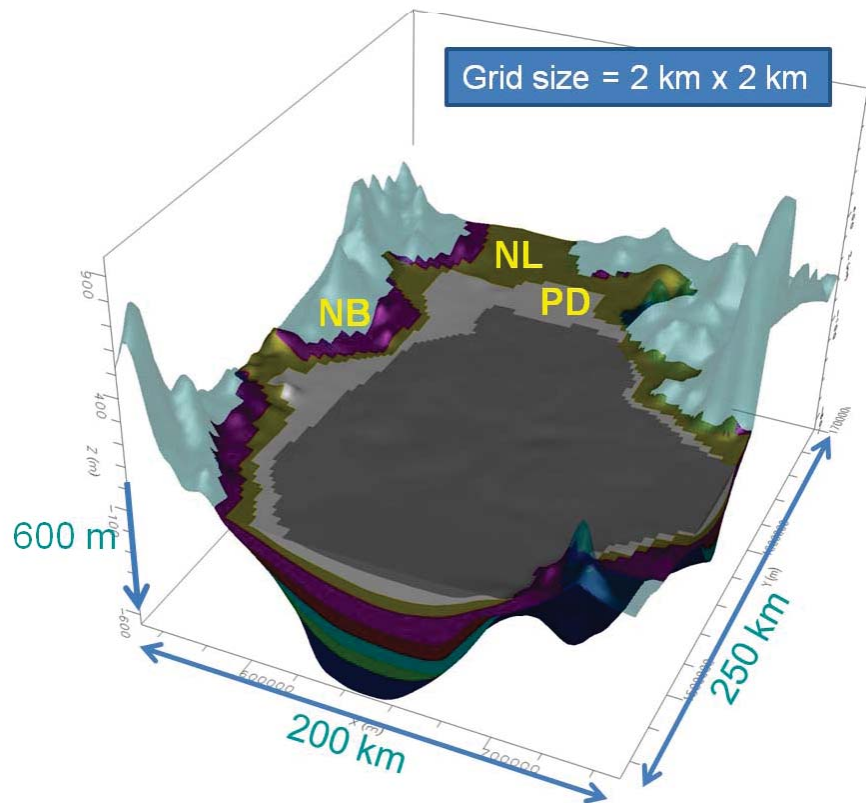


図1 バンコク首都圏を対象としたモデル構造

バンコク首都圏では1950年代以降の経済成長と人口増加により、無秩序な地下水開発が行われてきた。1970年代には地盤沈下現象と地下水の塩水化が発生するようになった。しかし現在では、揚水規制策により、地下水位は回復しつつある。このような状況下の本地域において、多層帯水層システムを対象とした3次元地下水流動モデルを構築し、揚水活動開始前から現在にかけての地下水涵養過程の変遷、特に揚水活動により地下水涵養が強化された地域を明らかにした。

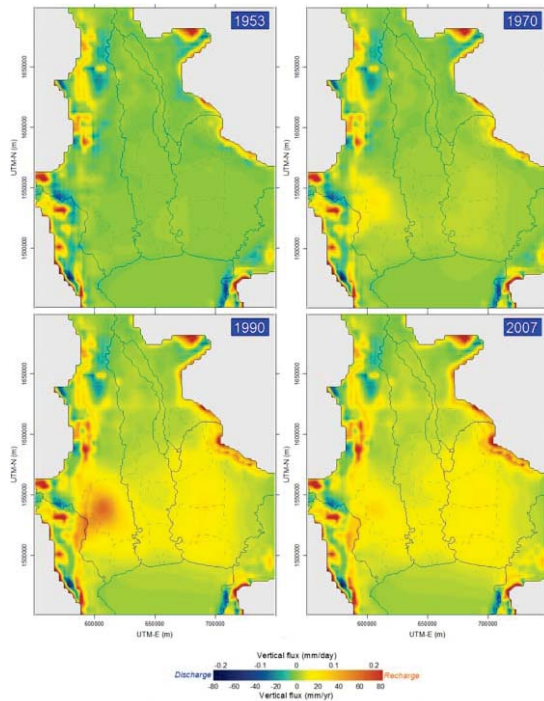


図2 地下水涵養Fluxの
経年変化

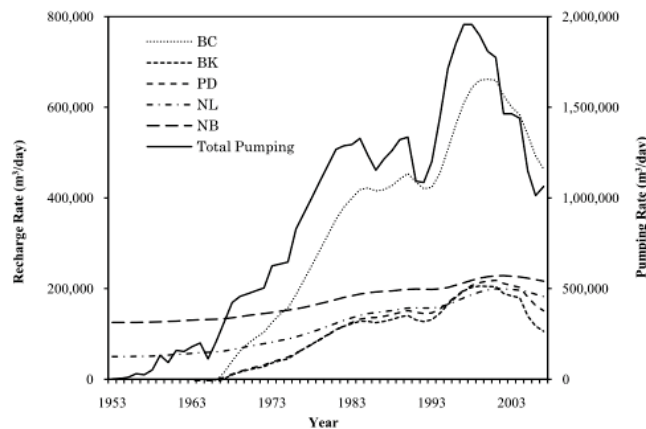


図3 BCの分布する地
域と各帯水層が地表に
露出する地域ごとの地
下水涵養量と総揚水
量の経年変化
(Mikita et al. 2010より転載)

バンコク粘土層(BC)分布域および各帯水層(BK、PD、NL、NB)が地表に露出する地域ごとの地下水涵養量と総揚水量の経年変化によると、バンコク首都圏に近いBCの分布域とBK・PDの露出域での地下水涵養量は揚水量によく追従して変化していることが判明した。一方、丘陵部に位置するNL・NBの露出域での地下水涵養量は、揚水量変化に対する反応が鈍く、揚水量が減少傾向に転じた後も緩やかに増加を続けている。結果として、揚水活動のピーク後では、ピーク前と比較してNL・NBの露出域での地下水涵養寄与が相対的に多くなったことが判明した。

陸水貯留量モデルの改良

仲江川敏之(気象研究所)・山本圭香(総合地球環境学研究所)・
福田洋一(京都大学)

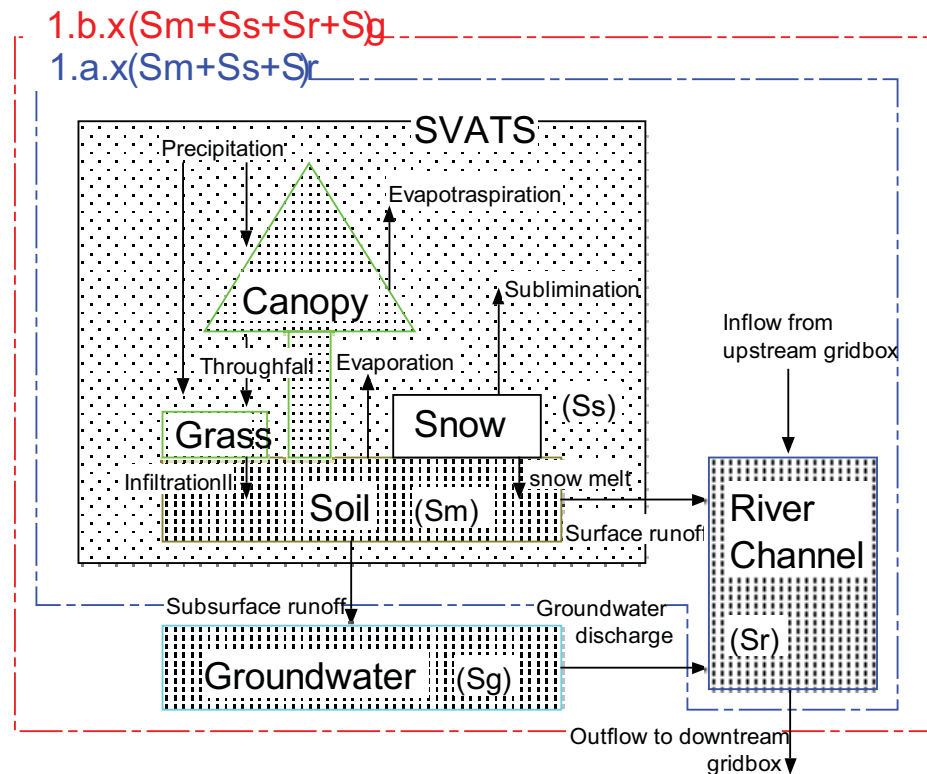


図1 陸水貯留量モデル化の概念図
(Fukuda et al. 2009より転載)

衛星重力ミッションの観測から推定される陸水貯留量の精度を評価するために、数値モデルによって算定される陸域貯水量を用いることが考えられる。これまでは、積雪と土壤水分の和として、陸水貯水量が算定されていたが、河道内や地下水層の貯留も考慮すべきである。そこで、図1のように、河道と地下水をモデル化し、陸水貯留量を算定し、既往の大気-陸域結合水収支法による結果と比較を行った。

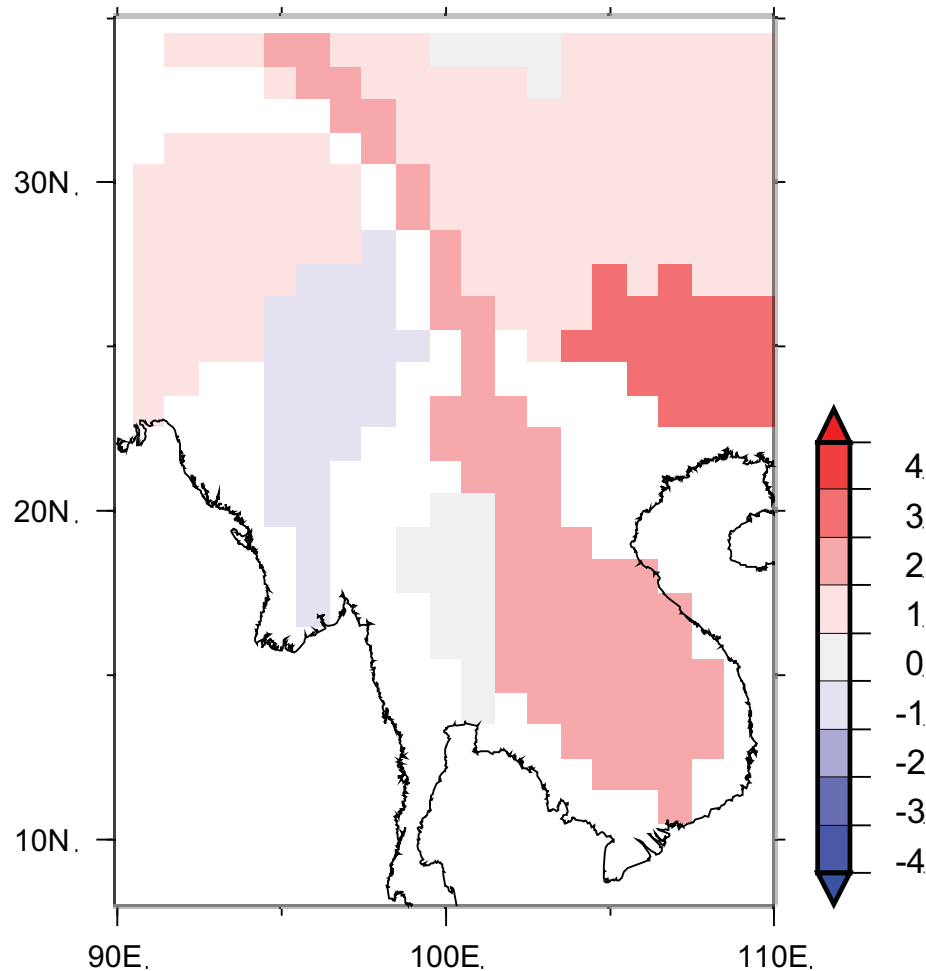


図2 インドシナ半島地域における陸水貯留量位相差の比較。(モデル)－(結合水収支法)

この図は、モデルによる陸水貯留量と大気－陸域結合水収支法による陸水貯留量の位相を、インドシナ半島周辺の大陸大河川について、比較した結果である。チャオプラヤ川では位相は位置しているが、メコン川では2ヶ月早く、イラワジ川では1ヶ月遅い。現在の推定法からすれば、十分な再現性であるが、今後更なる改善が期待される。

一連の実験の結果、河川流量の位相を合わせるチューニングを行うと、地下水層の有り無しで、陸水貯留量の位相と振幅の再現性は、ほぼ同じであることが示された。

GRACEから観測されたインドシナ半島の 陸水経年変動の解釈

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

衛星重力ミッションGRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment)から得られる時間変動重力場のデータを用いて、インドシナ半島における陸水質量変動の経年変化を復元した。GRACEデータを陸水変動の研究に用いる利点の1つは、他の手法では観測が困難な広域の地下水を含む陸域総貯留量の時間変化をとらえることができるということである。Figure 1に示すように、復元された経年変化は、2003年末ごろまでは減少を続け、その後、増加のトレンドに転じている。

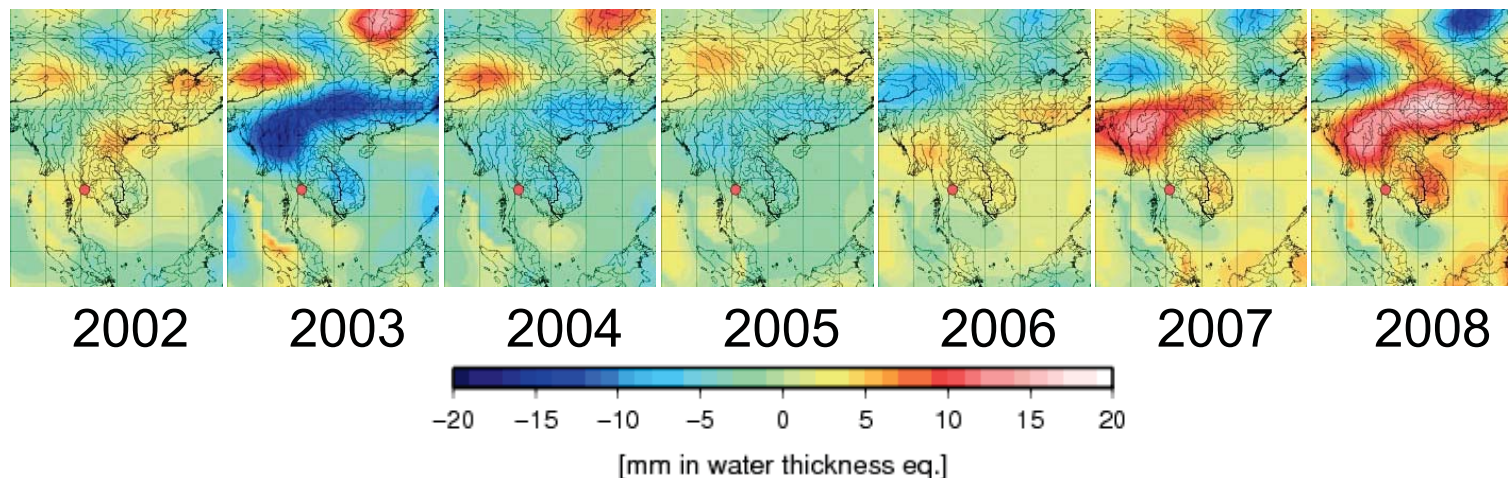


Figure 1. GRACEデータから得られたインドシナ半島の陸域貯留量の年平均。

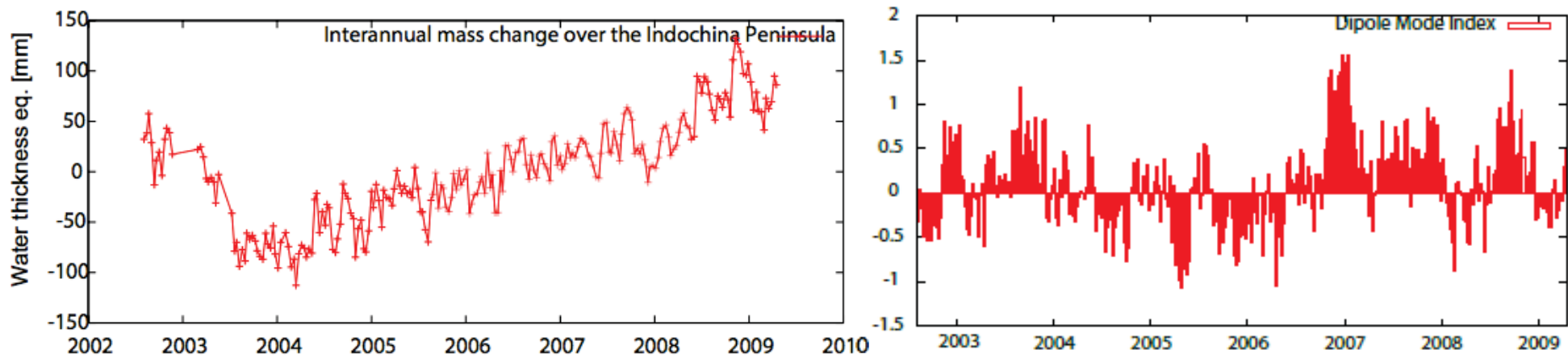


Figure 2. GRACEから得られた陸域貯留量の経年変化(左)とダイポールモードインデックス(UNESCO提供)(右)の比較。

ローカルな地下水流動モデルを用いて得られた被圧地下水の貯留量との比較結果から、GRACEによって観測された経年変動は、バンコクおよびその周辺域の地下水の過剰揚水による地下水位低下やその規制による水位の回復とは直接の関係はないことがわかった。一方、得られた変動は、インド洋ダイポール現象によるインド洋熱帯域の東西の海面温度(SST)の勾配をあらわす指標であるダイポールモードインデックスとは良い相関を示し(Figure 2)、トレンド変化の主要因は、ローカルな人間活動の影響による地下水の減少とその回復ではなく、グローバルスケールの気象・気候学的な変動が原因であることが示された。

K. Yamamoto, Y. Fukuda, T. Nakaegawa, Interpretation of interannual mass change over the Bangkok area observed by GRACE, Abstract for 2nd Hydrology Delivers Earth System Science to Society, 2010.

バンコクの地下熱環境

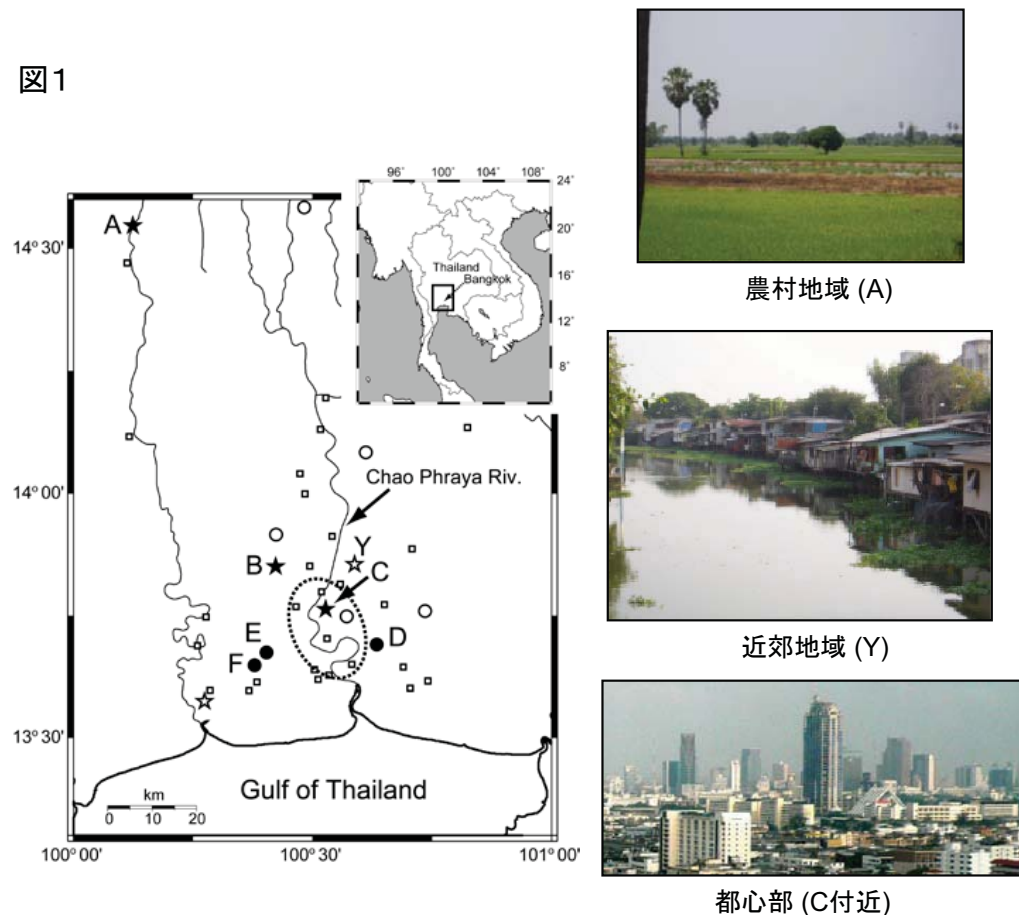
バンコク都市部では、都市化によって地表面温度が上昇し、その影響を受けて地下に大量の熱が蓄積しつつあります。一方、都市間遠く離れた農村部では、地下温度はほとんど上昇しておらず、熱の蓄積はおきていません。



地下温度分布による過去の 地表面温度履歴の推定

濱元栄起(埼玉県環境科学国際センター)・山野誠(東京大学地震研究所)・
Vuthy Monyrath(千葉大学)・上岡慎(九州大学)・八戸昭一(埼玉県環境科学国際センター)

図1



地表面における温度変動は、地下へ熱拡散によってゆっくりと伝播する。この性質を利用すると、地下の温度分布から過去数百年間の地表面温度変動の履歴を推定することができる。そこで我々は、温度計測を行える地下水観測井が多数あるバンコクとその周辺部にこの方法を適用した。そして2004年、2006年、2008年、2010年に計44地点で地下の温度分布の計測した(図1)。

図2

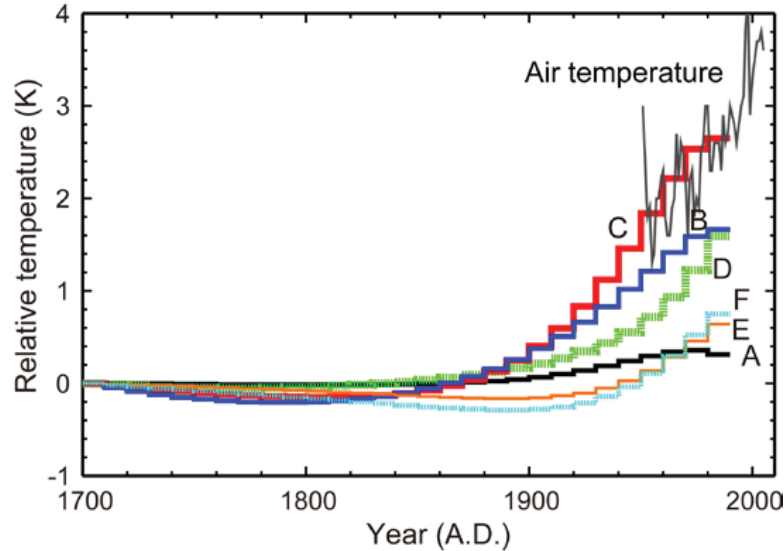
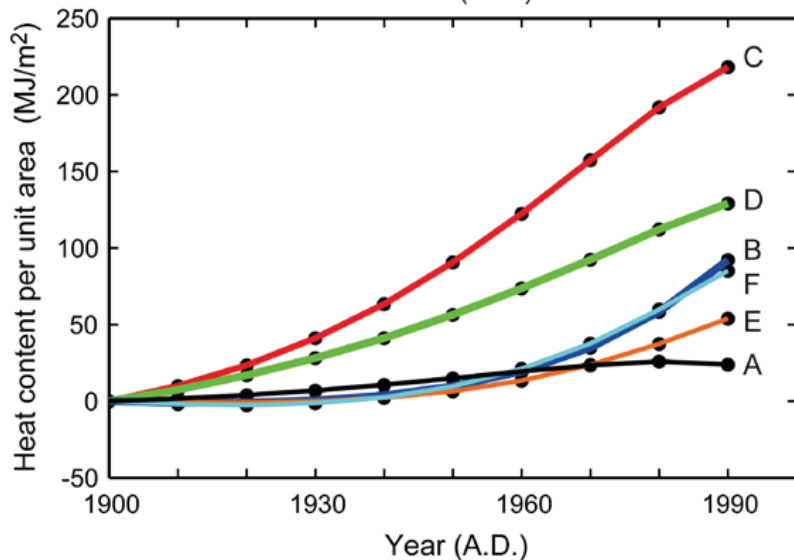


図3



解析に適した6地点のデータを選び、過去300年間の地表面温度の履歴を推定した(図2)。その結果、すべての地点で最近100年間に地表面温度が上昇していることがわかった。上昇幅は都市近郊や農村地帯に比べて都心において大きい。この違いはヒートアイランド現象や土地利用の変化など都市化の影響を反映していると考えられる。さらに、地表面温度変動の復元結果を用いて、1900年以降に地中に蓄えられた熱量の推定を行った(図3)。バンコク都心部で1990年までに蓄積された熱量は、北半球での平均値の2~3倍に達している。

Hamamoto, H., M. Yamano, S. Kamioka, J. Nishijima, M. Vuthy, S. Goto, M. Taniguchi (2009), Estimation of the past ground surface temperature change from borehole temperature data in the Bangkok area for studies of human impacts on climatic change in East Asia, In: Taniguchi, M., Burnett, W. C., Fukushima, Y., Haigh, M. and Umezawa, U. (ed) From headwaters to the ocean, Taylor & Francis Group, London, pp. 535-539.

濱元栄起, 山野誠, 後藤秀作, 谷口真人(2009): 地下温度データを用いた過去の地表面温度履歴の推定 -バンコク地域への適用-, 物理探査, Vol. 62, No. 6, 575-564.

Hamamoto, H., M. Yamano, S. Goto, M. Taniguchi (2009), Estimation of the past ground surface temperature history from subsurface temperature distribution -Application to the Bangkok area-, Butsuri-Tansa, 62, 575-584 (in Japanese with English abstract).

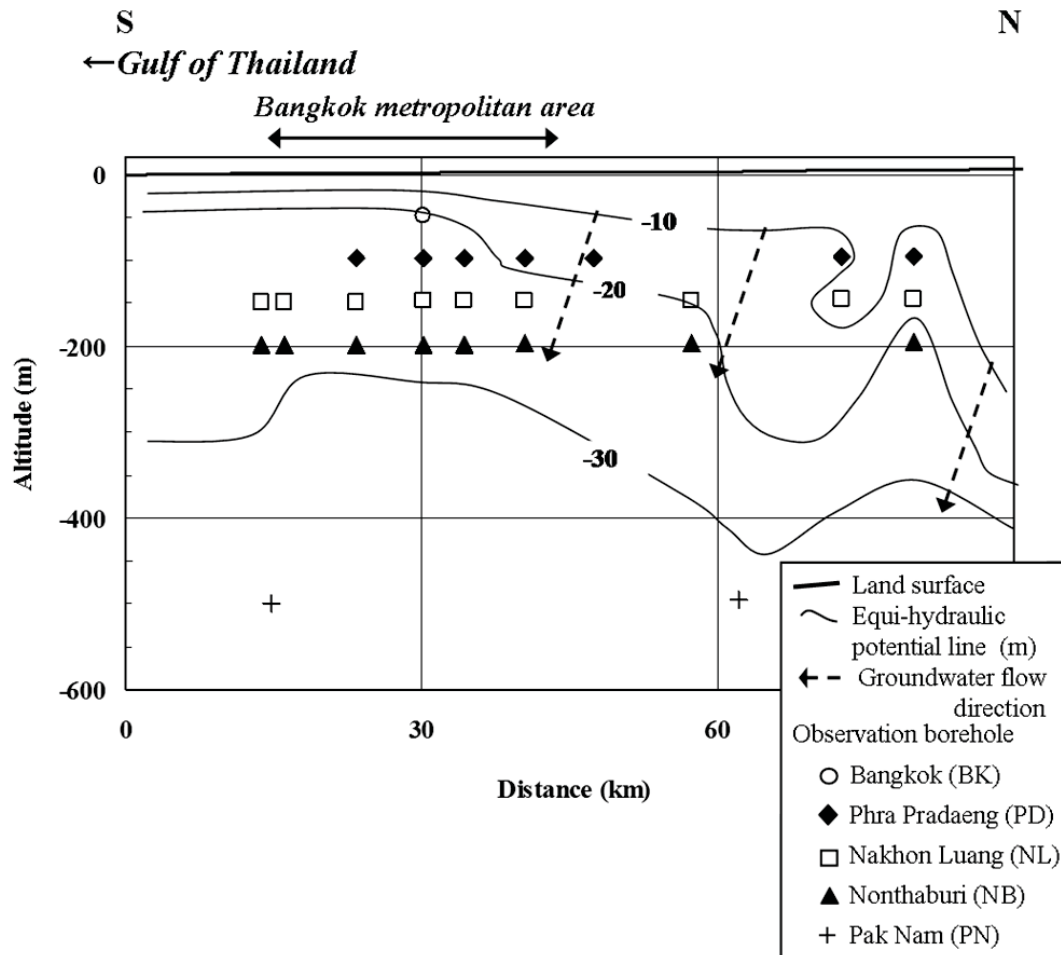
バンコクの地下水汚染

科学肥料や生活排水からくる「硝酸性窒素」の汚染は、整備が進んだことで現在はほとんど見られません。その一方で、沿岸域において地下水に海水が混ざる「塩水化」が広く起きています。また近年では、マングローブ林からエビ養殖池への転用による水質・土壌汚染が問題視されています。



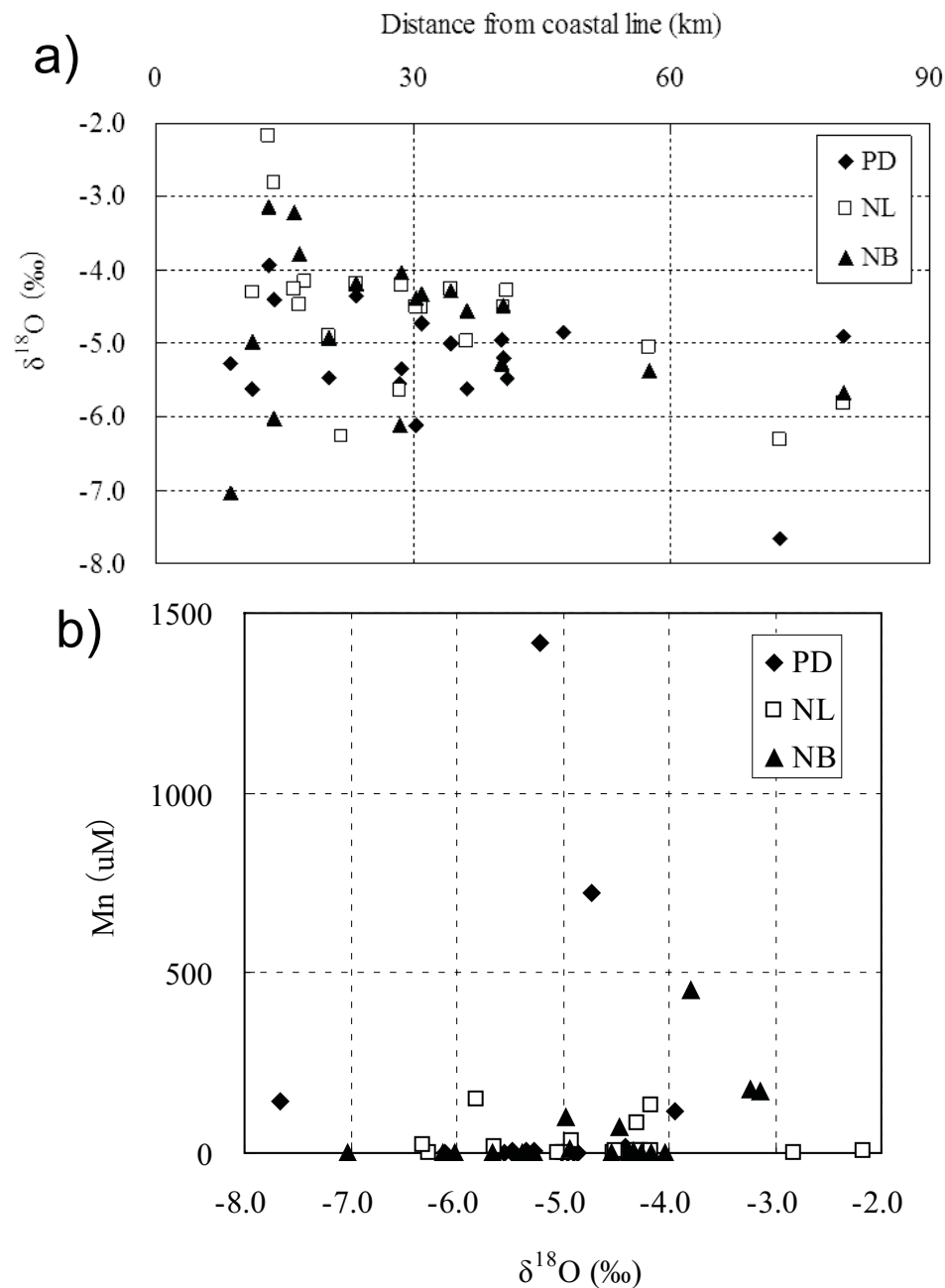
地下水の塩水化・重金属汚染

小野寺 真一(広島大学)・齋藤 光代(愛媛大学)



バンコクの都市部は沿岸域に位置する。通常、沿岸域は地下水流出域に相当し、地下水の流動方向は上向きになる。しかしながら、地下水のポテンシャル分布から、バンコク都市部においては、地下水が下向きに流動していることが明らかになった。恐らく、都市部における過剰揚水により地下水位が低下した結果、このような地下水流動の変化が生じたものと考えられる。

Figure 1. バンコク都市部～郊外における水理水頭分布



地下水の $\delta^{18}\text{O}$ は、海岸線に近い井戸ほど重い値を示した(Fig.2a). このことから、沿岸域では地下水の塩水化が生じていると考えられる. また、深部の帯水層(NL, NB)でより重い傾向を示したことから、地下水ポテンシャルの低い深層地下水へ海水が選択的に吸い込まれていると考えられる. 一方、マンガン濃度は最も浅いPD層で最も高い傾向を示したことから(Fig.2b)、地表水の汚染が影響していると考えられる.

Figure 2. a) 海岸線からの距離と地下水の $\delta^{18}\text{O}$ との関係 b)地下水の $\delta^{18}\text{O}$ とマンガン濃度との関係

Onodera et al. (2009). "Effects of intensive urbanization on the intrusion of shallow groundwater into deep groundwater: Examples from Bangkok and Jakarta." *Science of the Total Environment* 407: 3209-3217.