

大阪 -OSAKA-

都市としての大阪

水資源が豊富で、水上輸送を利用した「水の都」として古くから商業都市として栄えてきました。19世紀後半から本格的に工業化が始まり、日本最大の工業都市に成長する一方で、工場から排出される煙で大気汚染が深刻化し、「煙の都」と呼ばれるほどでした。

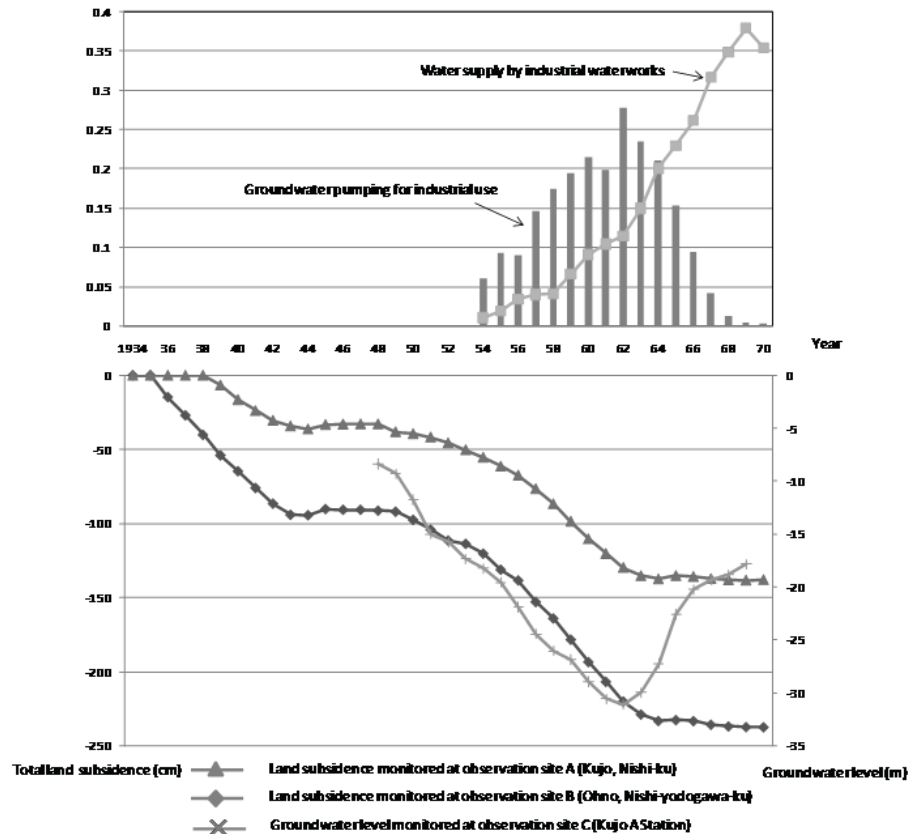
1960年代から公害問題に取り組み、1980年代には主だった問題はほぼ解決を見せています。1900年には165万人だった大阪府の人口は、2005年までに882万人（大阪市は262万人）まで拡大し、国内にもならず、国際的にも重要な商業都市として発展を続けています。



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)

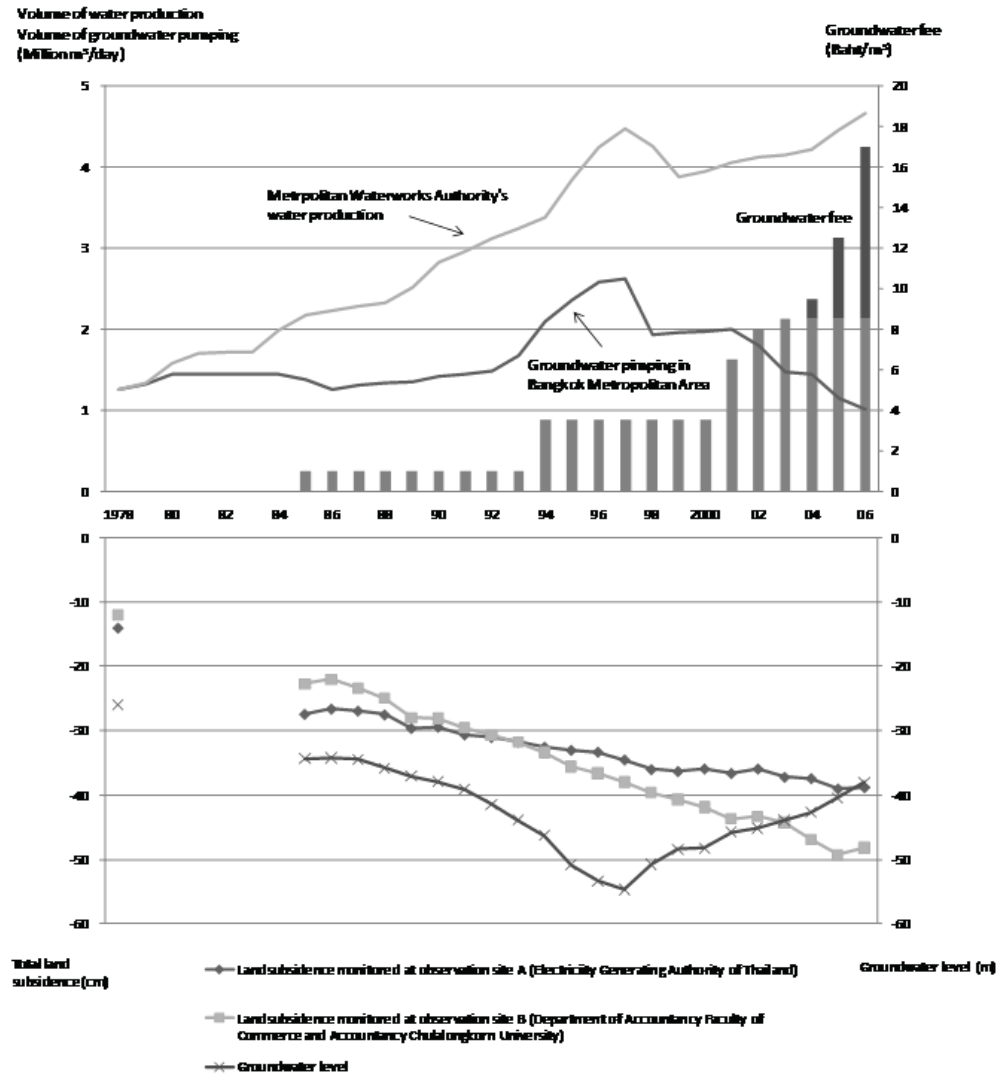
Volume of water supply by industrial waterworks
Volume of groundwater pumping for industrial use
(Million m³/day)



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



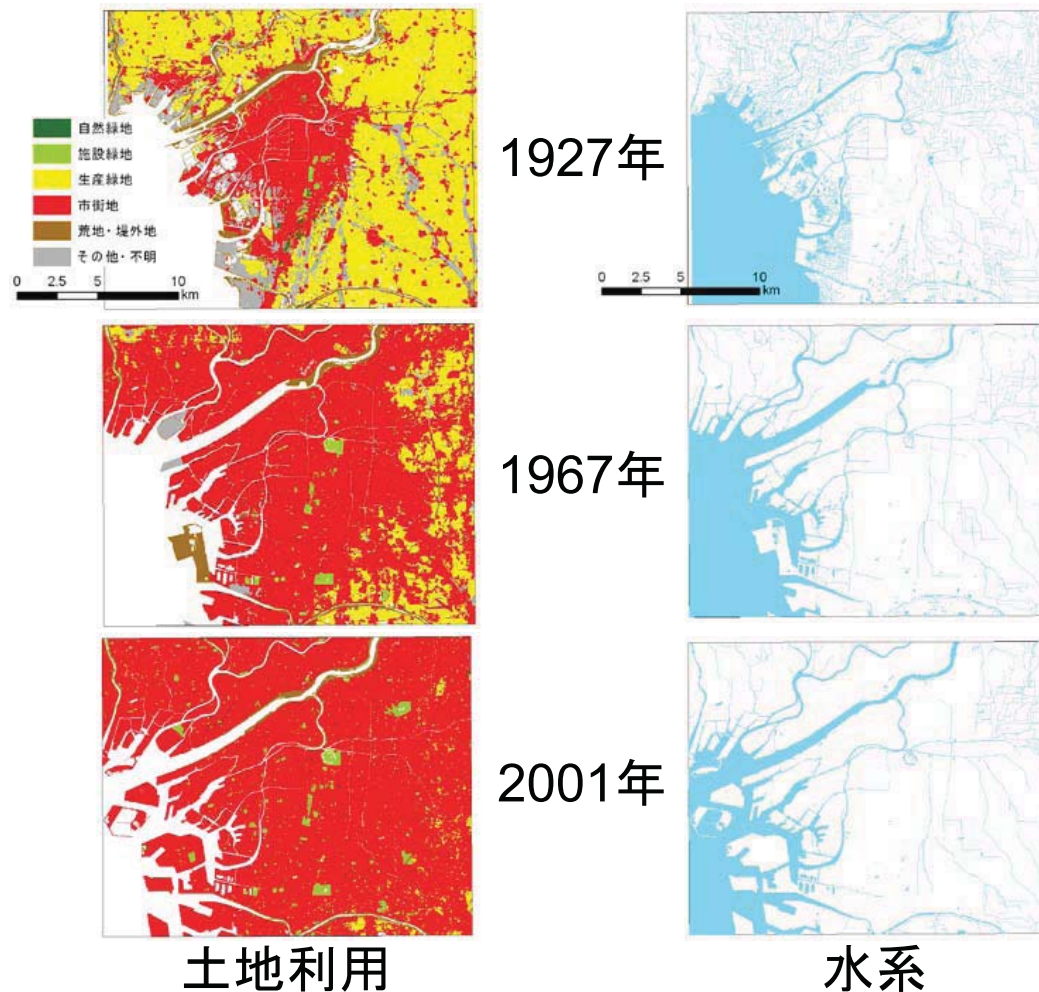
バンコク都では1970年代後半の調査によって、都市東部および東南部で急速な地盤沈下が起きていることが判明し、治水対策への悪影響が懸念された。その原因は工業用地下水の過剰汲み上げにあった。これに対して1977年の地下水法を皮切りに、地下水汲み上げ規制地域の創設、地下水の代替資源たる上水道網の普及、地下水料金制度の導入によって地盤沈下の鎮静化に成功した。特に地下水料金制度は大阪市の対策に見られないバンコク都特有の対応策である。

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。

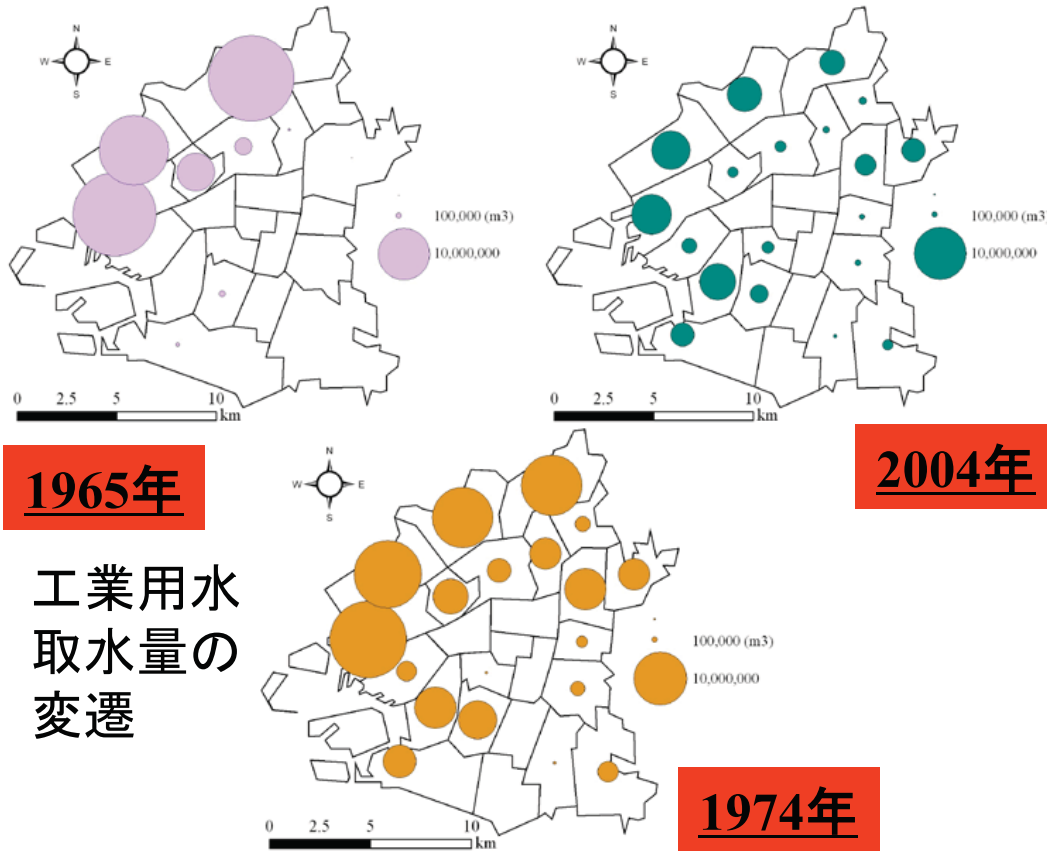
遠藤崇浩「地下水管理における政府の役割—バンコクの地盤沈下問題を事例に—」『日本水文科学会誌』 近日公刊。

都市化と用水利用の変遷に関する 時空間的分析

山下 紀郎(筑波大学)・加藤 政洋(立命館大学)



およそ100年間(特に最近50年間)の大阪市における都市化の進展、および生活用水(上水道)と工業用水利用の変遷を、データマップとして表現し、その時空間的特性を分析した。使用したデータは、国土地理院発行の2万5千分の1地形図の1927、1967、2001年のものから作成した土地利用データ、水域データ、および行政区別の上水道給水量、工業用水取水量の時系列データなどである。

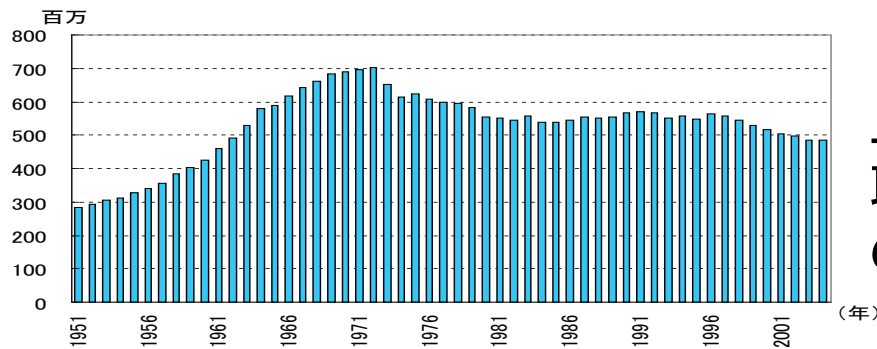


1965年

工業用水
取水量の
変遷

2004年

1974年



上水道
取水量
の変遷

都市化と用水利用の変遷を水平的視点で捉えると、1960年代までは、外延的に都市域が拡大し、透水性土地利用が非透水性土地利用へと変化していったといえる。工業用水としては専ら地下水が利用されていたが、工業用水道が整備された地域から順次、水源が表流水へと変わっていった。

一方、垂直的視点で捉えると、そのような土地利用変化と用水源の地下水から表流水への切替えによって、都市内における水の移動が、地表→地下→地表という3次元的なものから、地下空間を介さず地表の空間で収束する2次元的なものへ変化した。

• Yamashita, A. (2009) "Urbanization and the change of water use in Osaka City -Spatio-temporal analysis with data maps" in Makoto Taniguchi et al. eds. *From Headwaters to the Ocean: Hydrological Changes and Watershed Management*, 571-575.

• Yoshikoshi, A., Adachi, I., Taniguchi, T., Kagawa, Y., Kato, M., Yamashita, A., Todokoro, T., and Taniguchi, M. (2009) "Hydro-environmental changes and their influence on the subsurface environment in the context of urban development" *STOTEN*, 407, 3105-3111.

大阪の地下水

東京と同様、工業化によって大量の地下水が汲み上げられたため、地下水位の低下と地盤沈下を経験しましたが、現在は解決しています。地下水の回復の仕方が東京に比べてスムーズだったのは、琵琶湖や淀川が代替水源として機能したためと考えられます。また、東京と比較して浅いところに地下建造物が建設されているため、地下水回復による地下建造物浮上の問題はほとんどおこっていません。ヒートアイランド対策としての地下水の利用が始まっています。



地下水の涵養源と流動特性の推定

中屋 眞司(信州大学)・安元 純(琉球大学)

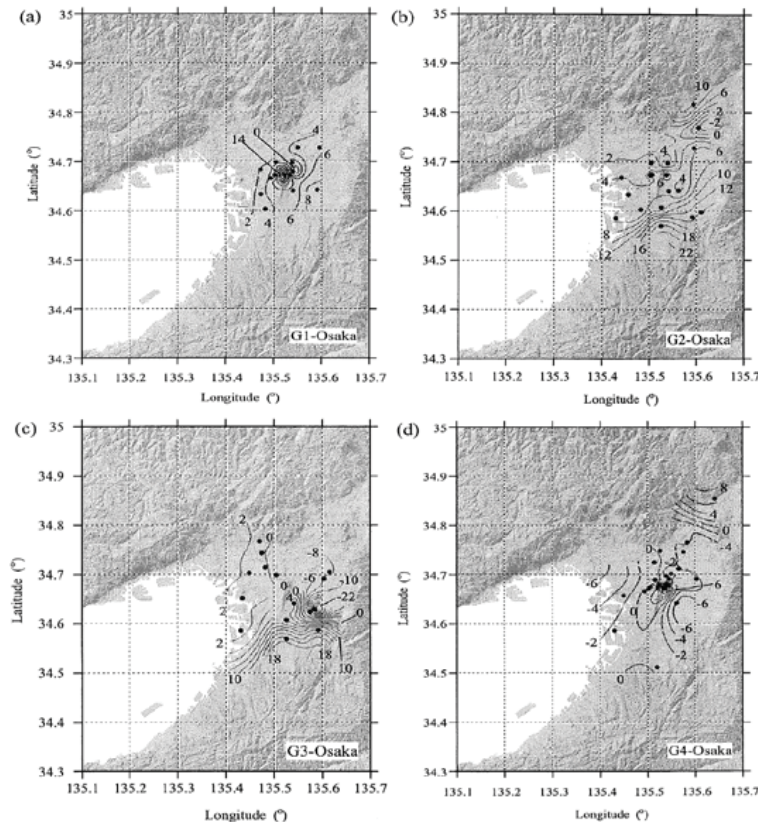


図1 大阪盆地における各帯水層の地下水水面図(2000年) (中屋ほか, 2009より転載)

大阪盆地の地下水の涵養源とその流動特性を捉えるために、地下水位分布や地下水の酸素・水素同位体比等を調査した。同位体比の結果から、地域の地下水は盆地の周囲の山地と丘陵地や台地で涵養されていること、また流動過程において硝酸を深層部まで輸送していることが判明した。涵養速度をトリチウム濃度を用いて推定したところ、鉛直方向に2~9m/年であった。また、数値シミュレーションを用いて涵養量の推定も行った。

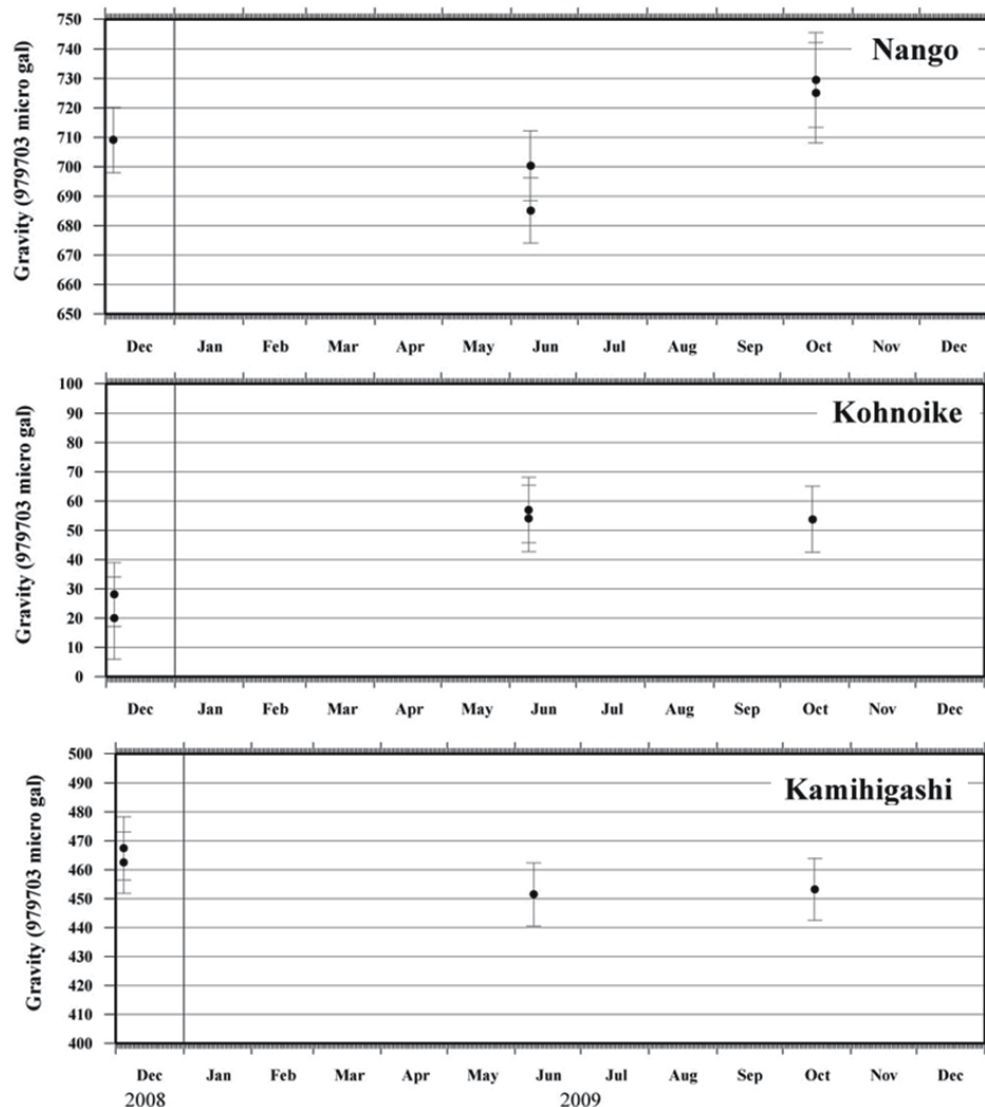
野外絶対重力測定

福田洋一(京都大学)・西島潤(九州大学)・長谷川崇(京都大学)



A10による野外測定ノウハウを蓄積するとともに、地下水のモニタリング手法の開発を目指して大阪での絶対重力測定を実施した。大阪平野は柔らかな堆積層に覆われ、また、都市ノイズも大きいことから重力測定には、大変、厳しい条件である。

測定点としては、地下水の季節変化が大きな大阪市東部から東大阪市の、いずれも小学校の敷地内の3点を選んだ。図には測定点の位置と測定風景の写真が示されている。

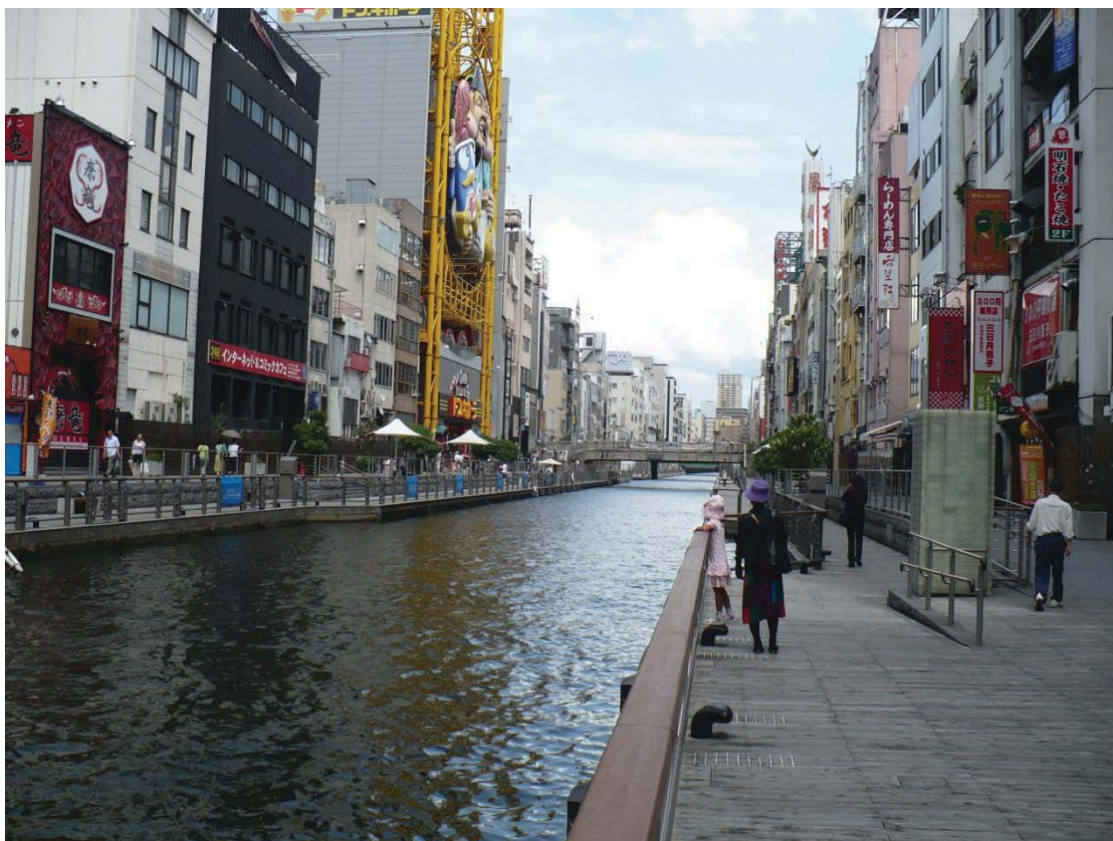


絶対重力測定は、2008年から2009年にかけて、これまでに3回実施した。図はそれぞれの測定点での重力変化をしめしている。同じ日に2つの測定値がプロットされている点は、測定値の再現性を確認するために2回の測定を実施したところである。これらの値の差は、10—20 μ gal以内で、はいずれもエラー・バーの範囲内にあり、大阪のような都市ノイズの大きなところでも、A10の公称精度である10 μ galはほぼ達成されている。

各測定点での重力変化の原因の一つとして地下水の季節的な変動が考えられる。

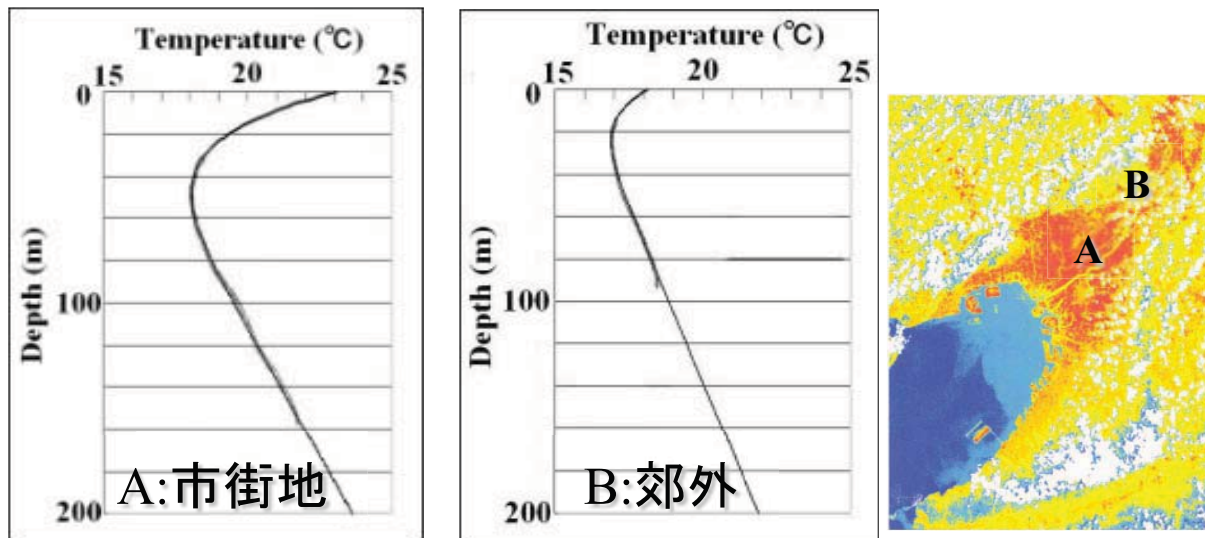
大阪の地下熱環境

1940年頃以後の急激な気温上昇の影響を受け、東京と同様に、地下の深いところよりも浅いところの温度が高い逆転現象がおきています。この地下温度の上昇は、近郊に比べて大阪市中心部でより大きく、都市化に伴うヒートアイランド現象が地下の温度環境に強く影響していることを示しています。



地下の温暖化

谷口真人(総合地球環境学研究所)・Shaopeng Huang (University of Michigan) ・
上村剛史(海城高校)・北岡豪一(岡山理科大学)



大阪の市街地中心部と郊外における、地下温暖化を示す。温暖化およびヒートアイランドの影響を受けて地下温度が上昇している様子が分かる。市街地中心部の地下の温暖化は、郊外のそれより大きい。

Taniguchi, M. and T. Uemura (2005): Effects of urbanization and groundwater flow on the subsurface temperature in Osaka, Japan, *Physics Earth Planetary Inter.*, 152, 305–313.

Huang, S., Taniguchi, M., Yamano, M., Wang, C. (2009): Detecting urbanization effects on surface and subsurface thermal environment –A case study of Osaka. *Science of the Total Environment*, 407(9):3142–3152.

大阪の地下水汚染

1960年代の高度成長期に揮発性有機化合物類（VOC）の問題がありましたが、現在では環境対策の規制が整ったこともあり、「環境保全目標」基準以下の数値になっています。ただし、鉛や硝酸性窒素などに関しては、基準値以上の値が見られます。ほぼ東京と同じ傾向です。



沿岸の富栄養化の記録

梅澤有(長崎大学)・細野高啓(熊本大学)・小野寺真一(広島大学)

Figure 1. 大阪

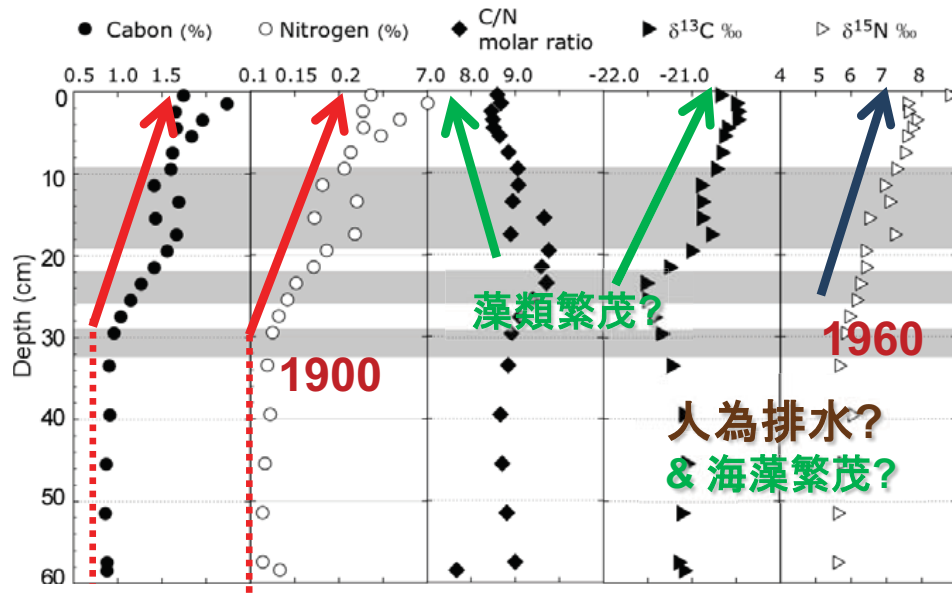
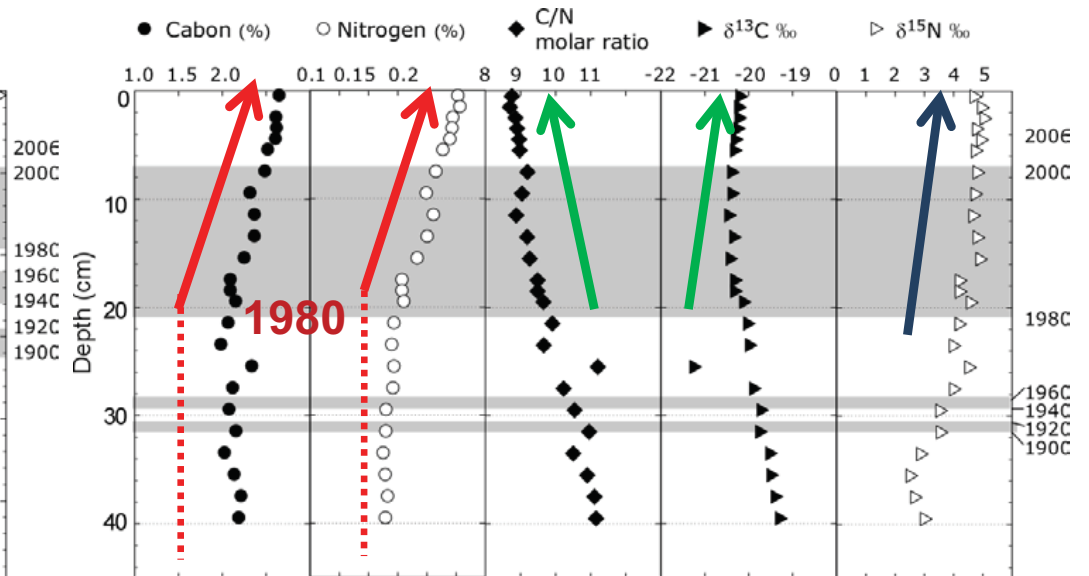


Figure 2. マニラ



大阪湾とマニラ湾において海底堆積物コアを採取し、 ^{210}Pb によって堆積時の年代を決定し、その層に含まれる化学成分分析を行った。大阪湾では、1900年頃から有機物(炭素・窒素)が増加し始めたのに対して、マニラ湾では1980年頃からようやく増加が始まっている。有機物の増加に伴って見られるC/N比の減少や $\delta^{13}\text{C}$ の増加は、富栄養化により植物プランクトンの繁茂が起きていたことを示唆している。

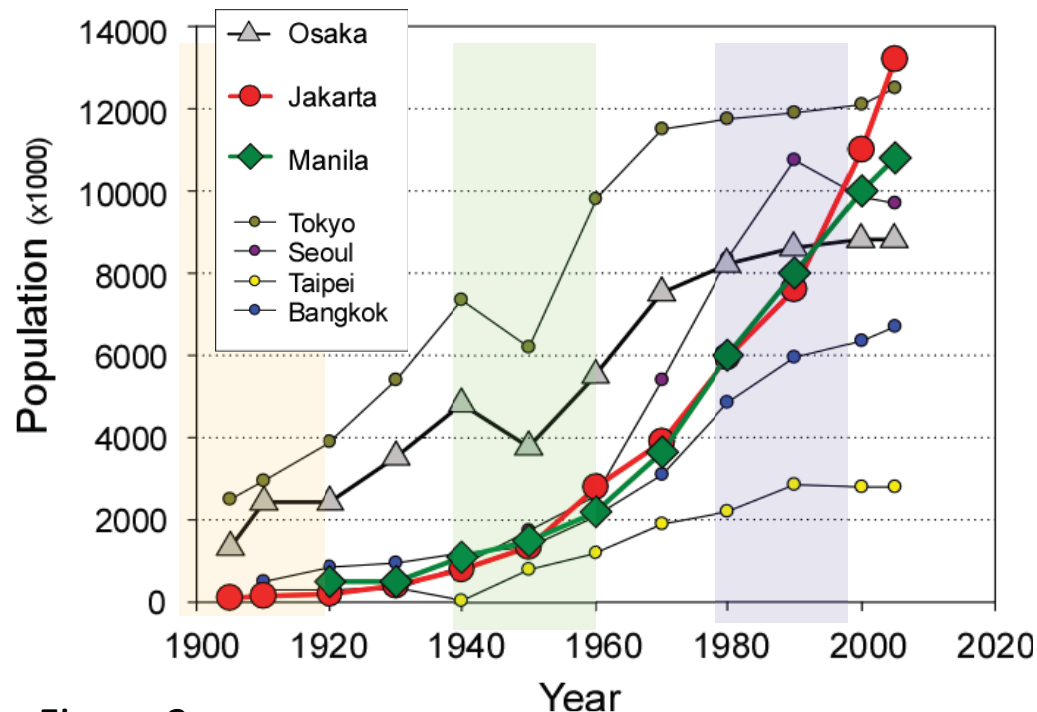


Figure 3
大阪とマニラの人口の経年変化の他都市との比較

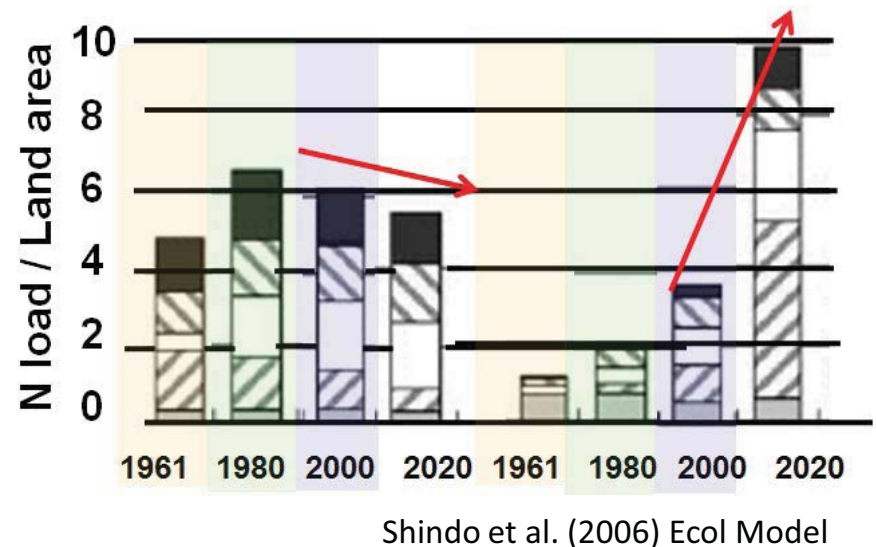


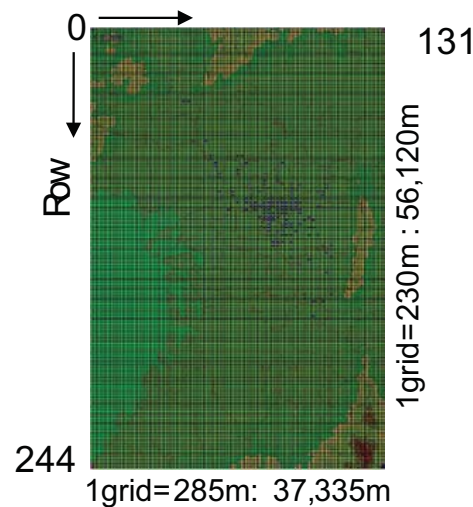
Figure 4.
大阪とマニラの窒素負荷量の時系列変動見積もり

大阪や東京では、1900年頃から人口の増加が進んだのに対し、マニラをはじめとした東南アジアの他の都市は、1960年から1980年にかけて急激に増加し始めた。都市の発達に伴う人口増加は排水の増加によって窒素負荷を増加させるが、下水処理技術等の革新によって負荷量は頭打ちになる。大阪やマニラの都市発達段階に応じた負荷量の変動は、図1、図2に示した沿岸堆積物の有機物量や、安定同位体比の値に反映されている。

Umezawa et al. "Carbon and Nitrogen Characteristics of Sedimentary Organic Matter as Indicators of Historical Trophic State in Osaka Bay, Jakarta Bay, and Manila Bay " AOGS, Buasn, 2008.

大阪湾における海底地下水湧出

安元純(琉球大学)・梅澤有(長崎大学)・中屋眞司(信州大学)



- 地下水流動シミュレーションには、MODFLOW-2000 (Harbaugh, et al. 2000)を使用

図1 大阪平野の地質構造と解析対象領域

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りつつある。

本研究では、大阪湾への海底地下水湧出量を数値解析と現地観測より推定し、大阪湾における海底地下水湧出が生物生息環境に及ぼす影響について考察した。

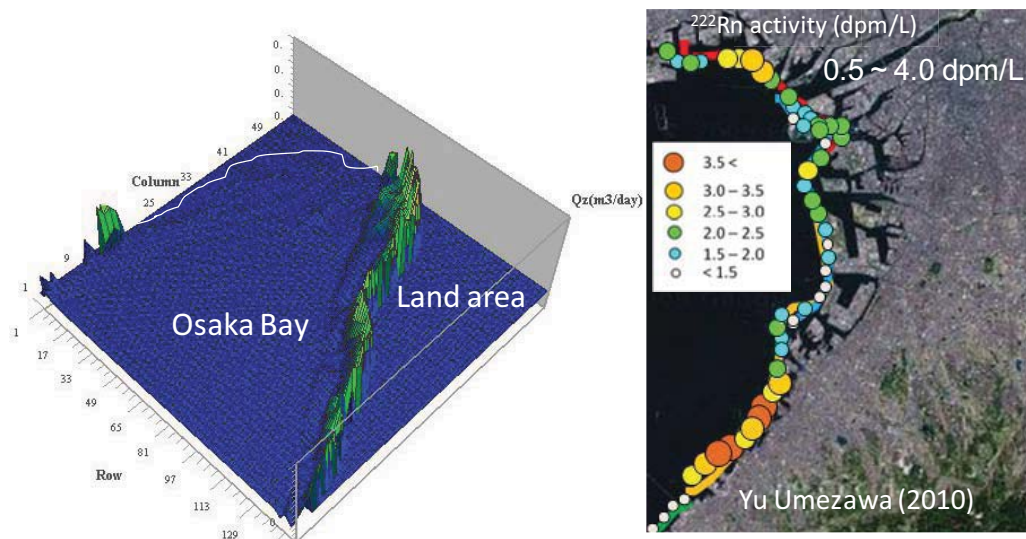


図2 数値解析による大阪湾への海底地下水湧出量と海水中のRn濃度分布との比較

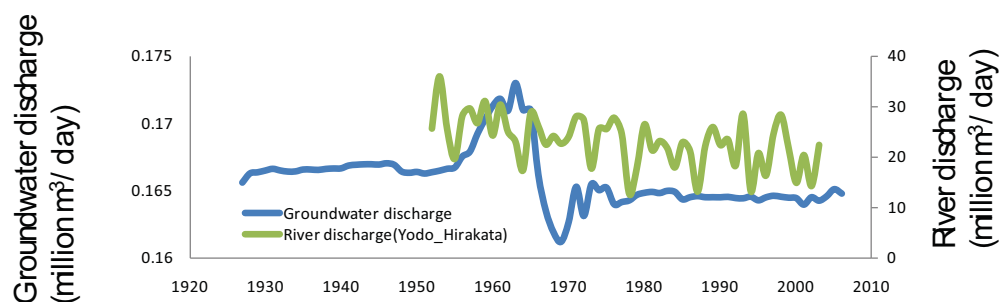


図3 大阪湾への年間地下水流出量と淀川(枚方)の河川流量との比較

図2には、数値解析により推定した大阪湾への地下水の鉛直流 Q_z (海底地下水湧出)の分布図を示した。図より、海底地下水湧出の分布は、大阪湾北部の一部と、南部の沿岸域一体でみられた。この結果は、地下水中で高いとされる放射性同位体ラドンRnの分布と比較的類似したものとなっている。一方、図3に数値解析によって推定した年間の大坂湾への地下水流出量と淀川の河川流量とを併示した。その結果、地下水流出量は河川流量に対し約1%となった。今後、再循環水を考慮することで、その割合は増える可能性がある。

Simulation of submarine groundwater discharge to Osaka Bay, Japan, Jun Yasumoto, Satoshi Nakada, Makoto Taniguchi, Shinji Nakaya, Yu Umezawa, Masahiro Takahashi & Shinaya Nakamura, Proceedings SWIM21 (Salt Water Intrusion Meeting), June 21-26, 2010.

大阪湾御前浜における海底地下水湧出

中田聡史(京都大学)・安元純(琉球大学)・谷口真人(総合地球環境学研究所)

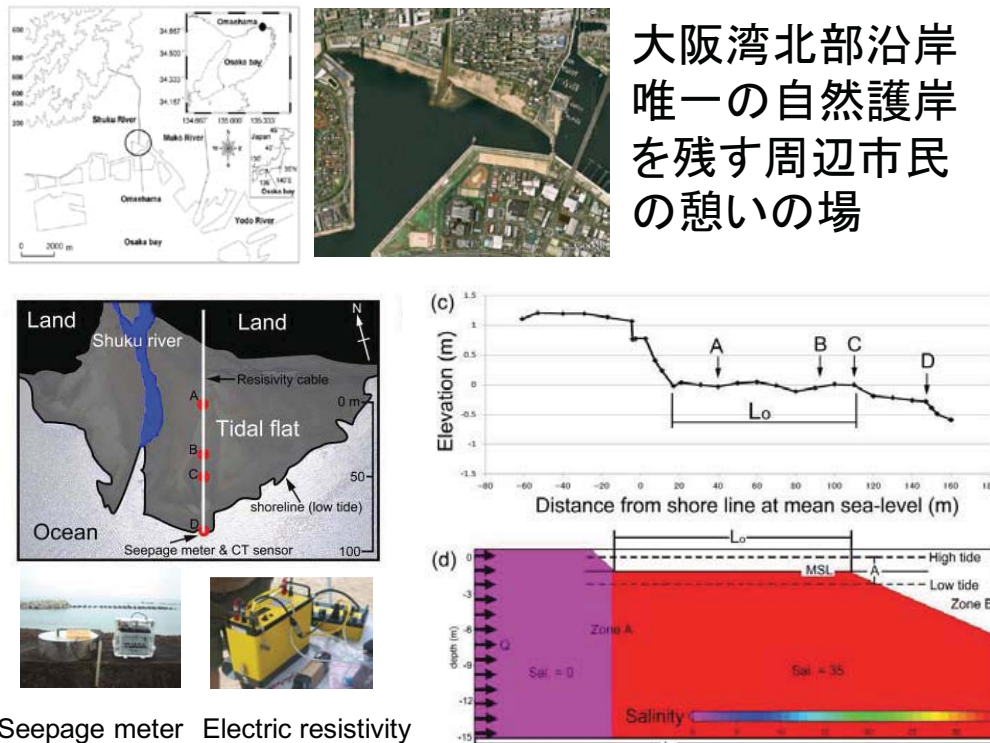


図1 大阪湾御前浜における現地調査と数値解析モデル(SEAWAT)

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りつつある。

本研究では、大阪湾御前浜における海底地下水湧出を現地観測と数値解析とにより検証し、大阪湾における海底地下水湧出が生物生息環境に及ぼす影響について考察した。

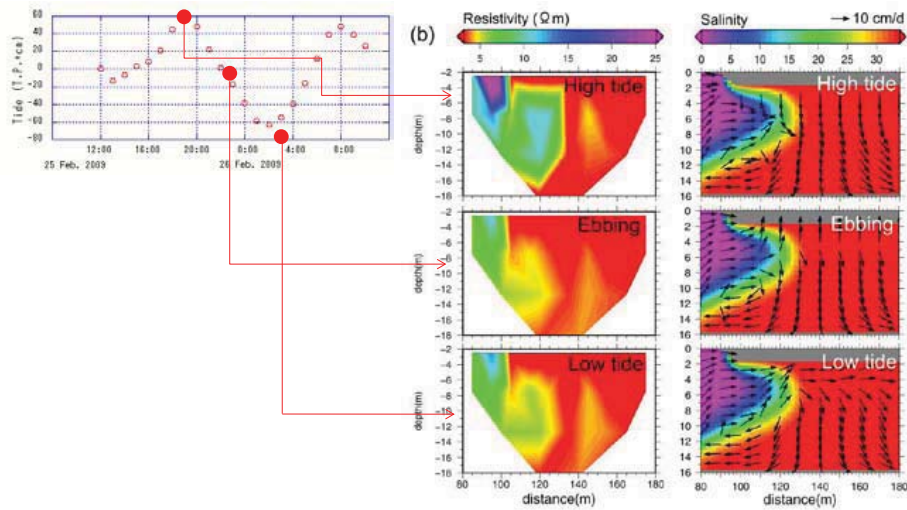


図2 各潮位時の電気探査結果と数値解析 (SEAWAT) 結果との比較

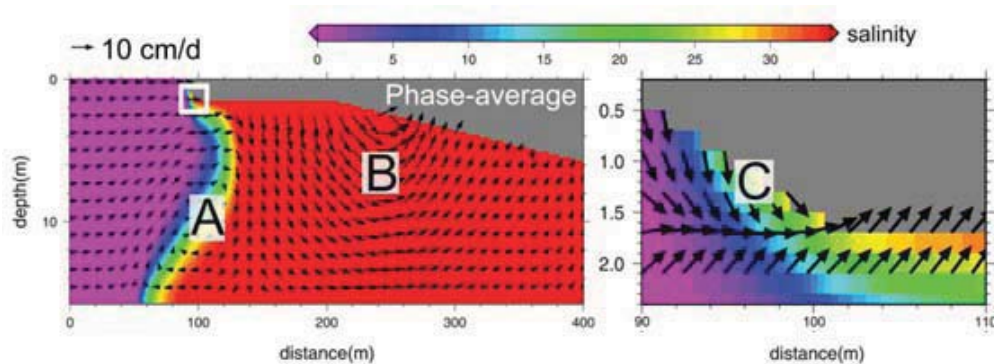


図3 数値解析 (SEAWAT) による断面2次元における淡水-塩水2相流解析結果

図2に、各潮位時の海底下の地下水と海水との挙動を、電気探査による現地観測とSEAWATを用いた数値解析結果を併示した。左側に示した電気探査結果より、海底下の地下水の存在が明らかになり、それが、潮汐に伴い変動していることが示された。数値解析でも現地観測を再現する結果が得られた。

図3には、数値解析 (SEAWAT) による断面2次元における淡水-塩水2相流解析結果を示した。海水成分に着目すると、淡塩境界を通過した淡水成分の流れに乗って海側へ流動し沖側の海底下から湧出する再循環流の2パターンの流動が確認され、各潮時で淡水成分が湧出する領域が変化していた。

以上の結果より、御前浜における海底地下水湧出は海水成分が卓越していることが示された。