

都市の発達に伴う水文環境の変化と地下に及ぼす影響

Hydro-environmental changes and their influence on the subsurface environment in the context of urban development

吉越昭久(立命館大)・安達 一(国際協力機構)・谷口智雅(立正大)・  
香川雄一(滋賀県立大)・加藤政洋(立命館大)・山下亜紀郎(酪農学園大)・  
戸所泰子(立命館大)・谷口真人(総合地球環境学研)

**Abstract**

The purpose of this research is to qualitatively analyze the relationship between urban development and hydro-environmental change, particularly with regard to the subsurface environment. Three coastal cities affected by Asian monsoons were selected for investigation: Tokyo and Osaka in Japan, and Bangkok in Thailand. Major differences in subsurface changes among these cities are closely related not only to the natural environments in which these cities are located but also to city size, urban structure, and the timing, stage and extent of urbanization. This paper provides general qualitative analyses as the first stage of a geographical research; much qualitative analysis remains to be done. However, given that urban development has not affected the Bangkok subsurface hydro-environment in the same way it has in Tokyo and Osaka, we suggest three reasons for this difference.

The first is that of meteorological conditions and, in particular, Bangkok's abundant annual rainfall. The second is that of surface conditions: Bangkok has the smallest ratio of impervious pavement surface area, meaning that surface water can more easily infiltrate underground. The third reason is based on the degree and extent of urbanization. Bangkok's subsurface hydro-environment has not been heavily affected because underground development has not yet reached deep subterranean areas.

By researching yet more cities, at different stages of urbanization to that of Tokyo, Osaka and Bangkok, we plan to quantitatively examine urbanization and its influence on subsurface hydro-environments. This research will help limit damage to developing cities that are not yet experiencing subsurface failures but which are expected to confront these problems in the future.

*Key words:* Urban development, Land subsidence, Groundwater, Asian monsoon, Geography

## I はじめに

本稿では、発展段階の異なる複数の都市を対象に、都市の発達過程が水文環境（とりわけ地下の環境）にどのような影響を与えるかについて、定性的にはあるが検討してみたい。具体的にいえば、都市化が地表面と地下環境にどのような変化を起こすかについて、いくつかの都市で比較考察することである。

水・汚染物・熱などの物質は、地表面を通して気圏・水圏・岩石圏の三圏間を移動する。このために、物質の移動という観点からすると、地表面は重要な場所になる。人間活動が加わることによって地表面の変化は、自然状態にあるよりも大きな影響を受けると考える。

移動する物質を水に限定してみると、地表面の変化と水の移動の関係を明らかにすることは、水文学的に主要な研究課題の一つであり、これまで都市化と水文環境変化の關係に関する数多くの研究が行われてきた。その中でも、M.J.Hall,1984 による研究はそれらの先駆的研究と位置づけることができ、都市化が洪水や水質汚濁の他、水不足にもつながる過程を明らかにしている。また、筆者らも都市の水文環境を同じ視点から取り上げたことがある(吉越：1989、吉越：1998、谷口：2005、山下：2001)。

従来の研究は、ある特定の地域を対象に、短期の水文環境の変化を明らかにすることに多くの努力が傾けられてきた。しかし、都市化の過程を念頭においた、長期の水文環境変化を明らかにすることに対しては、これまでほとんど注意が向けられてこなかった。

発展段階の異なる大都市の比較研究をすることは、今後、他のアジアの諸都市において将来的に起こると予測される問題の解決や対策にも役立つと考えられる。

## II 研究の対象都市と方法

研究の対象都市は、アジアモンスーンの影響下にある沿岸都市である日本の東京・大阪およびタイのバンコクとする。これらの都市を選定した主な理由は、相互に比較し得る地図・統計資料などがある程度揃うためである。

東京は東京湾に面する日本の首都で、東京特別区の面積は 621.5km<sup>2</sup>、人口は 831.9 万（2007 年現在）である。大阪市は大阪湾に面する近畿圏の中心都市で、その面積は 222.1km<sup>2</sup>、人口は 263.7 万（2007 年現在）である。また、バンコク(BMA)はタイの首都で、タイランド湾の近くに位置していて、その面積は 1,569km<sup>2</sup>、最近の人口は約 736 万である。

対象都市のうち東京と大阪は、早い時期に都市化された事例としてとりあげたが、そのうちでも東京はより大規模な例、大阪は規模が多少小さな例として、扱った。バンコクはそれらの都市より遅れて都市化された事例としてとりあげた。

研究の方法は、まず文献・統計類・地図などを利用して、各都市の発達と水文環境の変化を時系列的に把握する。その後、都市やその水文環境の時系列的な変化が、都市域の地下環境にどのような影響を及ぼしたかについて比較考察する。なお本稿で対象にする期間は過去約 100 年間とし、使用する地図は、可能な限り長期間のしかも大縮尺のものにした。本稿で対象にした地域は統計などを用いる関係上、行政域としたが、考察などはその周辺も含めて行った場合がある。また、資料の制約上、各都市の比較が同じレベルでできなかったことがある。

### 都市の発達

## 1. 東京

近代都市としての東京は、1868（明治元）年の明治政府の樹立によって始まった。当時の都市域は、近世後期の江戸とほぼ同じく、江戸城を中心とする半径 7~8km の範囲であった。明治期になって近代的な道路や鉄道の整備が行われると、都市域の拡大が進んだ。1910 年頃には、都市域は武蔵野台地から江戸川右岸にまで拡大され、およそ現在の東京特別区の範囲になった。しかし、周辺部はまだ農地が広がる田園地帯であった。1923 年の関東大震災により、東京は壊滅状態になり、一時的に人口減少や都市発展の停滞を起こした。

しかし、第二次世界大戦の終了した頃には、東京の都市域は半径 15km の範囲にまで拡大した。特に、台地上では放射線状に延びる鉄道沿線に住宅地が建設され、郊外の農地は急激に減少した。一方、湾岸部では高度経済成長期以降、重化学工業を中心とする工業地帯が形成され、東京湾の埋立が行われた。東京はその後も日本の首都として成長を続け、現在の都市域は半径 50km にまで広がった。

## 2. 大阪

大阪も、近代都市として明治期にスタートを切るが、初期には都市構造や掘割の存在などに近世の特徴を色濃く残していた。都市域は、明治期の近代化によって、鉄道の敷設を伴いながら周辺地域へ拡大していった。この過程で大阪は、かつての商業都市から工業都市に性格を変えていった。大正期に入ると大阪の工業地域は、旧都市域の周辺地域から外延部へと展開をみせはじめた。

第二次世界大戦の時期に、軽工業から重工業への転換が急速に進んだ。その後戦災により、大阪の生産活動や都市発展は中断を余儀なくされたが、高度経済成長期を経て、都市域を拡大させていった。1970 年代になると、大阪では既に住宅地や工業・商業・業務用地などの都市的土地利用が既に卓越していた。その一方で、郊外の北部および東部から南部には農地もかなりみられた。1990 年代になると、人口の郊外化に伴い都市的土地利用も拡大した。北部・東部・南部などに点在する郊外住宅地では、山林から都市へ土地利用が変化した。一方、農地から都市への土地利用の転用は、大阪を取り囲むように同心円状に広くみられる。現在の都市域は、半径 20~30km の範囲にまで拡大している。

## 3. バンコク

バンコクの都市としての発達は、ラタナコーシン島を中心に王宮が造られた 1782 年に始まった。1920 年頃には、王宮があるこの島を中心に、水路網を発達させ、チャオプラヤ川左岸である東部に発展していった。この頃までにつくられた水路網は、バンコクの都市景観の象徴となっていくが、その後の都市発展はこの水路によって規定されていたといえる。しかし都市域の拡大は、水路や運河の新設・延長ではなく、自動車の通行を想定した道路によっている。

1960 年代から始まる工業化によって、1970 年代から 1980 年代にかけて、タイは顕著な経済成長を遂げた。その後のバンコクは、都市域を拡大させて、地方からの人口も流入させつつアジア有数の大都市となっていた。バンコク周辺の水田や畑、果樹園は工業地帯に姿を変え、農業生産の減少とあいまって住宅地が増加した。人口は、1960 年に 200 万を超えたが、それ以降の増加も著しいものがある。都市の範囲の差があるとはいえ、都市郊外における人口増加は東京や大阪より遅れていたといえる。現在もチャオプラヤ川に沿った都心部と、道路に沿って建設された新都心の商業地区の景観は対照的である。20 世紀末

に至るまで、鉄道は日常的な交通手段としてほとんど機能していなかったため、水路による輸送は現在でも大きな役割を果たしている。こうして、現在の都市域は半径 10km 程度の規模をもつに至った。

#### IV 都市における水文環境の変化

##### 1. 東京

東京には関東山地を水源とする多摩川・荒川などの河川や、武蔵野台地の湧水を水源にもつ神田川・石神井川などの河川がある。また、井の頭池などの湧水池、玉川上水などの旧上水路や農業用水路などの水路、東部の運河など多くの水域がある。これらの東京の河川や水路は生活・農業・工業・水車などの用水や舟運に、また公園、憩いの場としても利用されてきた。

これらの都市の水文環境は、過去 100 年間に於いて、水質汚濁・河川の改修・暗渠化などにより大きく変化した。1930 年前後の東京では武蔵野台地上の一部を除いて、いたるところに水域が存在していた。都心部の水域も、1950 年代までは残存し、舟運に利用されていた。また、この頃には、低地には網目のように多くの農業用の水路があったし、台地上には湧水を水源とする河川も多く残っていた(新井：1996)。

しかし、第二次世界大戦頃には下水道の整備が行われ、排水路の役割を果たしていた水路は暗渠化された。それは特に、水質汚濁の顕著な下町の人口密集地において進展した(谷口：1997)。高度経済成長期以降も、さらに水域は減少した。その理由は、宅地化による農地の減少に伴う農業用水路の廃止、交通形態の変化による水運の廃止と河川の道路化、上下水道の整備による河川の暗渠化などであった。台地上では、急激な都市化により、不透水性の土地被覆面積が増えた。その結果、地下への浸透量の減少によって湧水が枯渇したり、流量減少によって多くの河川が枯れたりした。

現在では、過去の水文環境開発の見直しが図られ、一部の地域で、河川や水路が復活し、人工流路によって新たな水辺空間が生まれている。そのような変化があったにもかかわらず、湧水の枯渇などによる水域の減少は止まっていない。

##### 2. 大阪

大阪は、近世には「水の都」と呼ばれ、多くの掘割を中心とする水路網を有していた。現在の大阪の都心部は近世の都市域に相当し、北は堂島川、南は道頓堀川、東は大坂城、西は木津川に囲まれた地域である。1927 年当時の大阪の都心部には、掘割が近世当時のまま残存していた。特に、堂島川と土佐堀川に挟まれた地域は「中之島」と呼ばれ、近世には大坂の経済的中心地であった。

現在でも中之島は、大阪市役所や日本銀行大阪支店等が立地する大阪の政治・経済の中心地である。また、東西の横堀川と堂島川、長堀川に囲まれた一帯は「船場」と呼ばれ、問屋・仲買業者が集積し、掘割を活かした舟運によって、中之島と共に日本の物流拠点として栄えた地域であった。

このような「水の都」に劇的な変化をもたらしたのは、高度経済成長に伴う 1960 年代のモータリゼーションの進展であった。この時期、都心部では自動車の増加に対応するために、掘割は埋立てられ道路用地にあてられた。その結果、2001 年において現存している掘割は道頓堀川と東横堀川の一部のみとなっている。郊外では、1927 年頃には灌漑用の水路

が縦横に走り、南部にはため池も数多くみられたが、1970年前後から、農地が宅地等に転用されることによってその存在意義を失っていった。このように、1920年代から1960年代にかけて大阪の水域は、都心部では掘割の、周辺部では水路網やため池の消滅に象徴されるように、劇的な変化をみせた。

1960年代以降になると、内陸部よりむしろ湾岸部で大きな変化がみられた。それは埋立による陸域の拡大である。

大阪が「水の都」と呼ばれたのは、まさにこれらの歴史的経緯とその景観にも起因している。注意すべきことは、近世の新田はいずれも湾岸部の干拓により造成されたものであり、さらにその前面で埋立が行われ、明治期以降の工業地帯となったのである。従ってこの地域の地盤は軟弱であり、地下水の過剰揚水によって地盤沈下を引き起こしやすい条件を備えていたのである。

### 3. バンコク

バンコクの発達には、水路網と密接な結びつきを持っていた。チャオプラヤ川の蛇行と流路変更がさまざまな水路パターンを作り出した(Beek, 1982)。その水路を結ぶように大小とりまぜて数多く建設された運河は、人々の生活や産業活動を支えてきた。道路による自動車交通が発達する以前の地図からは、都市内部を縫うように水路網を張り巡らせていることがわかる。

こうした都市の道路のいくつかは、乾季には道路として、雨季には水路としての利用されるという、モンスーン地帯ならではのものがある。道路が水路と交差する地点には橋がかかけられているが、その推移をみてもその後の水文環境の変化がよくわかる(Narumit, 1977)。橋は水路を渡るために造られたが、道路交通が発展していくと不要な水路は使われなくなり、1980年代以降になると一部は埋立られ、橋も姿を消していった。

またバンコクの住民の水利用方法も変わっていった。水路は、交通手段としてだけでなく飲料水源や洗濯場、さらには下水路としても利用されてきた。しかし、そのような多くの役割を果たしてきた水路も、人口増加とそれに伴う都市構造の転換でむしろ不便な存在として見捨てられてしまった。もちろん現在でも、水際に立地する住宅もあるが、水路の利用形態はこれまでとはかなり異なっている。また、上水道および下水道の普及などの衛生的改良も、人々を水路や運河から遠ざける要因となった。バンコクにおいても都市域の拡大や人口増加は、人々の生活と水路とのつながりを希薄にしていった。

しかし見逃してはならないのは、最近になって観光や環境といった視点から再び水路網が見直されようとしていることである。バンコクの都市再開発計画は、副都心において進められており、チャオプラヤ川に沿って林立するウォーターフロントの再開発ビルや副都心を流れる運河沿岸の親水公園は、人々と水との結びつきを復活させようとしている。

バンコクの郊外では現在でも水路と住宅は近接した存在にある。例えば、都心部への交通手段として郊外へ伸びた水路網から通勤・通学客を乗せた定期船が頻繁に往来している。これらの事実からも、水路網の有効利用が図られており、今後の都市構造の変化にも水文環境は、計画的に取り入れられようとしていることがわかる。

## V 都市の地下環境に及ぼす影響

### 1. 東京

東京の発達、都市域を郊外に拡大することと、都市の内部においてより高度な土地利用を図ることで行われてきた。具体的には、密度を高めたり、立体的な空間利用を行うことである。上空には高層のビルや高架の道路・鉄道の建設を、地下には鉄道・道路や地下駅・地下街などの建設を行った。特に東京では地下を通る鉄道が発達しており、新しい路線を建設するたびに、より深く掘削する必要があったため、例えば新幹線上野駅では 30m の深度まで、地下利用が行われるようになった。

前述のように、地表の土地利用の改変が河川や水路などの水文環境に大きな影響を与えたのと同様に、地下空間利用の改変も地下環境に大きな影響を与えた。地下街や地下鉄などの巨大な構造物は、地下水流の障害となるし、上下水道管からの漏水は、地下水涵養や地下水汚染などにつながる。東京の地下の地下水収支をみると、水道管からの漏水が  $44 \times 10^4 \text{m}^3/\text{日}$  に達し、地下水供給量の約 1/3 に相当するとの見積もりもある(東京都環境保全局：1998)。

一方、人口増加や工業化による生活用水需要や生産活動に伴う工業用水需要の増加は、遠方にダムを建設させたり、地下水の揚水量を増加させることになった。特に、安価で利用の容易な地下水は早くから利用されてきた。1950 年代後半には、例えば工業地区である江東区だけで  $15 \text{万m}^3/\text{日}$  の地下水が汲み上げられていた。

このような地下水の過剰揚水は、急激な地下水位の低下や地盤沈下など多くの影響を生じさせ、前述の江東区では 1957～1958 年の 1 年間で、17～18cm の沈下量を記録した(東京都公害研究所編：1970)。さらに、過剰揚水は地盤沈下だけでなく、酸欠空気、地下水の塩水化など、いわゆる地下水障害を引き起こすこととなった。

このため、1950 年代後半から法律と条例によって、地下水揚水に対する規制が実施された。この措置によってその後、徐々に地下水位は回復し、1918 年以来積算して 4.5m 以上沈下した江東区南砂 2 丁目でも地盤沈下は収まってきており、近年では 1 年間に 2cm 以上沈下する地域はなくなっている(Bureau of Environment, TMG, 2006)。

しかし、現在では、これまでとは異なった新たな問題が起こるようになった。地下水位の上昇は、建物への浮力を増加させたため、新幹線の上野駅などで浮き上がり防止対策を講じる必要を生じさせた。また、地下工事に伴って大量の地下水が湧出し、その処理も必要とされるようになった。このように、地下水障害は、以前の地下水位低下から最近の地下水位上昇に伴う問題へと変化している。

## 2. 大阪

大阪における地下水障害も、基本的には東京の場合と大きな違いはない。しかし、大阪は東京ほど大深度の地下利用がなされていないので、影響は浅い範囲にとどまっている。

大阪湾岸部には多くの工場・事業所が集積したが、これらは用水型産業であり大量の工業用水を必要とした。1950 年以前の大阪では、主要な用水源として地下水が利用されてきたが、過剰揚水による地下水位の低下や地盤沈下が大きな問題になった。大阪の地盤沈下も東京と同様に明治期から進行し、場所によっては 1886 年から 1921 年までの 36 年間で 57 cm もの沈下をみている。第二次世界大戦前までに最も地盤が沈下した時期は 1930 年代後半であったが、1943・44 年頃にはほとんど停止するにいたった。これは第二次世界大戦によって工業活動が低下し、工業用水の過剰揚水が行われなかったためである。戦後になると、工業生産力が急伸したのにあわせて、再び地盤沈下も急激に進行した。最も顕著だ

ったのは、戦前と同様に大工場が集積する西区の九条や此花区の西島などであり、1950年から1960年の間に地下水位は約20cm低下し、地盤沈下もこの10年間で40cm以上を記録したところもあった。こうした地盤沈下によって湾岸部の地盤高は最大潮位を下回るようになり、高潮や豪雨等によって浸水被害を受けた。

それに対して、防潮堤の建設や土地の高上げが行われてきたが、1950年のジェーン台風では甚大な高潮被害を受けた。このような地下水の過剰揚水によって引き起こされた地盤沈下問題に対して、大阪府は1950年に淀川の表流水を水源とする工業用水道の建設に着手した。

このような代替水源の確保の他に、地下水揚水規制に関する法整備を1950年代後半から1960年代前半にかけて行なった。この結果、地下水位は1962年には既に回復の兆しを見せ、1970年までに急速に上昇した後は上昇率が減少し安定化している。

一方、地盤沈下は地下水位に比べれば即効性はなく、1965～1970年頃までは徐々にではあるが沈下を続けていたが、それ以降収まり現在に至っている。

### 3. バンコク

バンコクの都市の発達や水文環境の変化が地下環境に及ぼす影響は、東京や大阪とはかなり様相を異にする。バンコクでは地下鉄や地下の道路、地下街などの利用が極めて限定的であるし、利用は大深度まで及んでいない。このため、物理的に地下水の流動を阻害するようなケースはあまりみられない。

第二次世界大戦後、特に1970年代以降バンコクの人口増加は、プライメイトシティの様相を帯びてきた。東南アジア地域の経済成長に伴い、バンコク南部のチャオプラヤ川沿岸に工業団地が形成され、バンコクは工業都市としても成長していった。急激な人口増加と工場の進出は、水道施設の敷設に比べて安価である地下水揚水を増加させた。

地下水開発が本格的に開始されたのが1954年であるが、その頃はまだ揚水量は8000m<sup>3</sup>/日に過ぎなかった。その後、1982年には45万m<sup>3</sup>/日まで増加させ、過剰揚水による地下水位低下、地盤沈下、さらには生活廃水・工場排水による地下水汚濁などの問題が生じるようになった。特に地盤沈下は、バンコクの都市域がチャオプラヤ川周辺に発達しているため、雨季には洪水被害を深刻化させた。

そのため、1970年代以降、タイ国政府は地下水の揚水規制を実施した。この結果、もともと豊富な降水量とチャオプラヤ川の伏流水によって涵養されていたバンコクの地下水は、一旦はすぐに回復していった。しかし、1995年から2001年までの間に、井戸の数は約1300から約1900に増加し、揚水量も約30万m<sup>3</sup>/日にまで減っていたものが、すぐに60万m<sup>3</sup>/日に増加しているなど決して規制の効果はみられない。1980年代から2000年にかけて地下水位は多少回復したものの、元の水位には戻っていない。地盤沈下は、1980年代に5～10cm/年から1990年代には2cm/年へと減少させたが(UNEP, 2005)、バンコクの周辺地域ではむしろ増加の傾向にあって、解決までにはまだ時間がかかりそうである。

## VI 考察

以上の結果を、模式的に都市間比較によって示したのが図1である。とりあげた時期は、20世紀の初期、中期、晩期の3時期とした。対象範囲は行政域としての都市である。

Land use compositionは、都市的な不透水性の土地被覆が占める割合であるが、これが

高くなるほど自然の状態地表水が地下に移動しにくくなることを意味する。Area of water surface は、地表面の水域面積の割合を、Ground water level は地下水位の変化を、Land subsidence は地盤沈下量をあらわすが、これらはともに 20 世紀初頭を基準とした相対的な変化を示している。

まず、東京と大阪の土地利用変化をみると、大阪で多少早く都市的土地利用が卓越する状況に移行したが、東京もそれほど遅れずに変化し、現在では両都市内の大部分が都市的土地利用で占められている。しかし、20 世紀後半においても、バンコクではまだ都市的土地利用の割合が都市の面積の半分に至らず、地表水を地下に移動させる能力が東京・大阪と比較して大きいと考えられる。Areas of water surface は、いずれの都市も時代と共に減少しているが、大きく減少した時期は、都市としての発達時期の違いから、都市によって異なっている。バンコクは、3 都市の中で、最も遅く大きく変化する時期を迎えた。このため、都市内部には水域がかなり残っている。

Ground water level は、東京が 1950～1970 年頃、大阪が 1950 年代に最も低下したが、バンコクは大阪より約 20 年の遅れをもって変化した。東京はその後次第に地下水位が上昇してきたのに対して大阪は 1960 年代に急速に回復し、以降横ばいである。バンコクでは、1970 年代の後半に急速に回復するが、その後の地下水揚水の影響で、上昇が遅れている。また、ごく最近になって低下傾向にあることが指摘される。Land subsidence は東京・大阪においてほぼ停止し、一部で上昇したところもあるのに対して、バンコクはまだ低下率が小さくなっているものの、停止までには至っていない。しかしながらバンコクでは、政府による揚水規制にもかかわらず地下水利用が以前にも増して行われているものの、地下水位が回復したり、地盤沈下が緩くなっていることは、むしろ注目に値する。

このように、都市による発達形態やその時期の違いが、地表面の水文環境と地下の環境にも明瞭な違いをもたらしていることが判明した。

## VII. 結論

発達の規模や時期の異なる都市を対象にして、都市の発達過程が水文環境、とりわけ地下環境に及ぼす影響を与えたかについて、主として定性的な記述により比較考察した。

図 1 でとりあげた模式図からもわかるような地下環境変化の明瞭な違いは、都市が立地する場所の自然環境だけでなく、都市の規模、都市構造、都市の発達の時期などと大きく関わっていると考えられる。しかし、本稿では概略的で定性的な検討にとどまり、定量的な分析までには至らなかった。

東京・大阪と比較してバンコクの都市化が地下環境に及ぼす影響が大きい理由として、著者らは以下のように考えている。1 つめは、気象条件の違いで、バンコクの年降水量が多いことがある。2 つめには、都市の地表面が、バンコクの場合、東京や大阪と比較して不透水性の土地被覆面積の割合が小さく、地表水が地下に浸透しやすい状態にあることが考えられる。3 つめは、バンコクの地下開発・利用が限定的であり大深度に至っていないため、大きな影響がでなかったことが考えられる。

今後、都市化の発達段階がさらに異なる他の都市も加えて、都市の発達段階と地下環境への影響について、より定量的な研究を進めて行く予定である。

これらが可能になれば、まだ地下水障害などを経験していない都市が、今後経験すると



考えられる被害を最小限に食い止めることが可能になると考えられる。また、バンコクの地下水位に関して想定した3つの理由のうち、どれが最も大きく効いているかについても、今後の研究の中で定量的に明らかにしていきたい。

## 謝辞

本研究は、総合地球環境学研究所プロジェクト「都市の地下環境に残る人間活動の影響(プロジェクトリーダー：谷口真人)」から研究助成を受けた。また本研究は、東京大学空間情報科学研究センターの「空間データ利用を伴う共同研究」(共同研究番号：119、研究代表者：吉越昭久)の成果の一部であり、国土地理院提供の「細密数値情報(データセット ID=183000)」および「数値地図 25000(地図画像)(データセット ID=343000)」を使用した。

## 参考文献

- 新井 正 (1996) 「東京の水文環境の変化」地学雑誌 105, 59-474.
- 谷口智雅 (1997) 「文学作品から見た 20 世紀前半の隅田川に水質の変遷」地理学評論 70A, 42-660.
- 谷口智雅(2005) 「文章記載・景観に見る水文環境 東京の歴史的な水環境の復原」日本水文科学会誌 35-3, 137-145.
- 東京都公害研究所編 (1970) 「公害と東京」東京都公害研究所, 708p.
- 東京都環境保全局 (1998) 「東京都水環境保全計画」東京都政策報道室, 230p.
- 山下亜紀郎 (2001) 「金沢市における都市住民による用水路利用と維持への参加」地理学評論 74A, 621-642.
- 吉越昭久 (1989) 「都市域の水収支」気象研究ノート 167, 125-135.
- 吉越昭久 (1998) 「都市域における水文環境の変化 京都を事例とする予察的研究」立命館文学 553, 327-342.
- Beek, S. V. *Bangkok Only Yesterday*. Hong Kong Publishing, 1982, 63p.
- Bureau of Environment, Tokyo Metropolitan Government. *Reports of Surveys on Land Subsidence and Underground Water in Tokyo*. Bureau of Environment. TGM, 2006, 75p.
- Hall, M. J. *Urban Hydrology*. Elsevier Applied Science Publishers, London, 1984, 299p.
- Narumit, S. *Old Bridges of Bangkok*. Sayammasamakhom, Krung Thep Maha Nakhon, 1977, 176p.
- UNEP *State of the Environment, Bangkok 2001-Land Subsidence*. UNEP, 2005, 45-47.

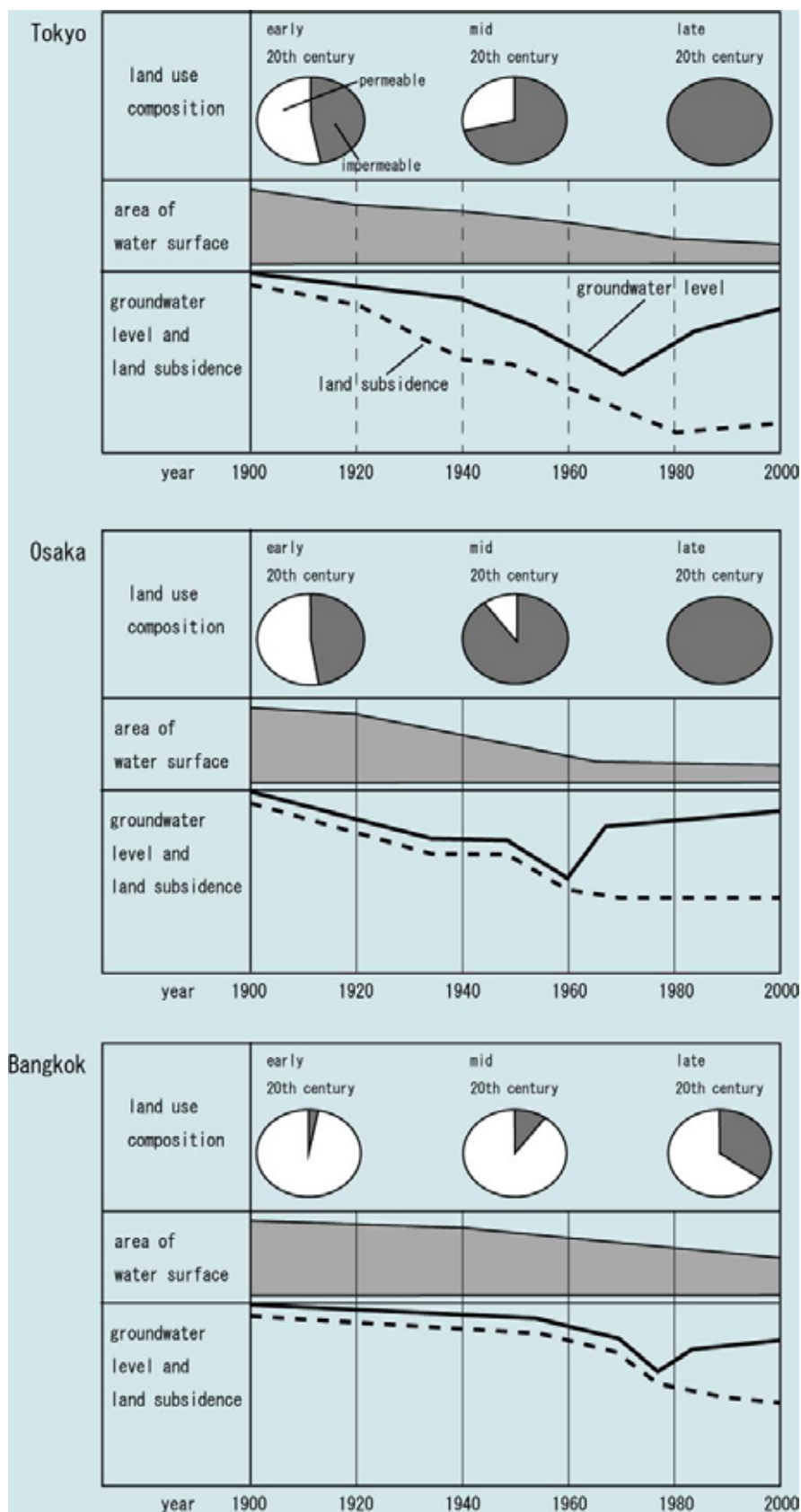


図1 3都市の水文環境変化に関するモデル図