

都市水文学——地理学からのアプローチ——

新 井 正*

I はじめに

最近の地理学，特に人文地理学では，商業・管理機能などを中心においた都市に関する研究の比重が高いように思われる。かつて重きをなしていた第一・二次産業や伝統的な生活・生産様式を中心とする研究は，正面から姿を消したかの感を受ける。人間活動が都市に集中しつつある現在，都市研究の重要性は今更説くまでもない。しかし，重商主義に偏向した現在の都市地理学のみが，地理学における都市研究ではない。都市は元来，第一次，第二次産業の中心地あるいは結節点であることを忘れるべきではない。また，都市成立の基盤の一面である自然条件やエネルギーの供給を無視ないし軽視しては，真の都市の dynamics は解明できない。

地理学の立場からみれば，都市の立地にも自然が深く関係していることは疑う余地のないことである。各都市にはそれぞれ特有な自然条件があり，人間活動はそれを利用してきた。ところが人工が加わることにより都市の自然は変形され，新しい自然が形成される。このような自然の変形の例としては，都市気候がしばしば例にあげられる。都市における人工的な地形の改変も無視できない¹⁾。都市の自然災害に関しても，多くの報告がある。ところが都市水文については，日本の地理学界では独自の報告も少なく，研究方法の検討も充分でないように考えられる。国内外の研究の紹介も，市川（1975，1978）のほか，若干をみるのみである²⁾³⁾⁴⁾。

本報は都市水文の地理学的研究方法の例を紹介

し，それをとおして更にレベルの高い研究へのアプローチを探ることを目的とする。ここでは具体的な例を詳しく記載しないが，これについては新井ほか（1987）を参照されたい⁵⁾。

現在，大都市の生活環境はエネルギーの大量消費によって保たれている，といっても過言ではない。したがって，市民の自然に対する認識は，自然を生活の糧とする農山漁村に比較すると無に等しい。しかし，都市の自然条件が町の活動を制約し，市民もその制約のもとで生活していることは否定できない。ここで，都市の自然を改めて評価することは，地理学にとっても重要であろうと考える。

都市研究はすでに多くの分野で行なわれている。しかし，自然科学的都市研究，特に自然地理学的な都市研究は立遅れていると言わざるを得ない。本文が，この分野の研究に少しでも役立てば幸である。

II 都市水文研究の流れ

はじめに都市水文の研究史を概観しておく。都市の水研究のなかで，いわゆる水文学的に研究の範囲を決定することは容易ではない。都市の水問題としては，上下水道，水質汚濁，洪水などが圧倒的に多くかつ重要である。しかし，これらは都市自然環境の総合的な理解を目標とはしておらず，我々の研究方法とは一致しない。地理学と水文学の主張を結合するならば，都市の自然の一部としての水の流れを，人間生活との関係において追跡するのが我々の方法となるであろう。

都市における水の問題は上述のように多様であ

* 立正大学

る。これらは、現実には次の2点に絞られるであろう。第一は生活を含む都市活動のための用水の確保であり、第二は余分な水の迅速な除去である。歴史的にもこの2点が重視され、これは技術史的にも研究されている⁶⁾。都市の排水技術としては衛生的なものが中心であり、いわゆる水文学的な流出が関心を持たれるようになったのは最近である。そのきっかけの一つは、20世紀に入ってからの舗装道路の建設にともなう排水溝の設計であったといえよう⁷⁾⁸⁾。

第2次大戦後の都市水文研究は、1950年代にアメリカで大きく発展した⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。地質調査所のLeopoldらは、道路や排水溝といった線的な考えを脱却し、都市水文を面的に把握した。その代表的な例が、地域特性のパラメーターとして排水溝の分布と都市化率とをとりあげ洪水ピークの変化を説明したLeopold(1968)の仕事であろう¹⁰⁾。アメリカの研究が一段落すると、イギリスで研究が盛んになった¹²⁾。アメリカでもイギリスでも、都市水文研究の背景には都市・宅地開発があり、研究手法もかなり地理学的である。

日本の地理学的な都市水文研究には、系統的な傾向がみられない。そこで、ここでは1950～1970年代のアメリカ、イギリスの研究を中心に紹介し、研究方法について考察する。なお、総合的な文献としては、新井ほか(1987)、Lazaro(1979)、Hollis(1979)、Hall(1984)などがあげられる¹³⁾。

III 水 収 支

都市が莫大な量の水を消費することは、知られてはいるが理解されていない事実である。東京のような大都市に流入する全物質、すなわち原料、食糧、人、輸送機関、燃料、空気、水などの量を調べることは容易ではないが、この概算を試みた半谷らの報告によれば、水の量が特別に多い¹⁴⁾¹⁵⁾。東京に入る水は降水として 2.6×10^9 t/年、人工水路により 2.1×10^9 t/年あり、これは陸、海、空路から入る物質の総

量 1.36×10^8 t/年を上廻っている。

このようにして流入した水は、最終的には都市から排出されるが、その過程にも人工的排水と自然的な排水とがある。ここでは当然後者が主なテーマとなる。地上に落下した降水は、その時点から水収支、流出過程に組み込まれることになる。一般に水収支は自然の地表面を想定し議論されているが、都市の地表面は人工的な部分が多い。市街地をおおうコンクリートや家屋は、降雨に対しては不透水性ないしは難透水性の地表面となり、蒸発に対してもそれを止める役目をする。この不透水性の地表面のみをとりあげても、都市の水収支が自然地域のそれとはかなり異なることがわかる。

水収支を巨視的にみた場合、その特性は蒸発散と流出の比率によって決められる。両者の比率の決定方法は研究の立場によって異なるが、巨視的な水収支の場合には蒸発散を推定し、残余を流出とする方法が一般に採用されている。Mather(1978)は、ソーンズウェイトの水収支法に基礎をおき、都市化のパラメーターとして不透水域の割合をもちい、巨視的な水収支の算定を試みている¹⁶⁾。彼は30年間以上の土地利用の変化と水収支計算が、都市化による水文変化の予測にも有効であることを示している。

同様な手法は新井(1979)によっても試みられている¹⁷⁾。ここでは東京の地下水涵養と直接流出の関係が研究目標とされ、次のような解析手段が使われた。まず通常の手法によってソーンズウェイトの水収支が計算され、これと平行して不透水性の面積がカラー空中写真(約1/1万)によって計測された。計測は 2×2 km メッシュを単位とし、空中写真の判読により不透水性と判断された部分(道路、家、その他)を塗りつぶし、自動面積計でその面積を求め全体の%で示した。蒸発散はこの面積に対応して減少するものと考え、これとは独立して直接流出については次のような操作を加えた。すなわち、直接流出は不透水性面積率(C:%)の関数であると仮定

し（実際には後でのべるように排水路の密度がそれと同程度の効果を持つのだが）、直接流出率（ f ）と C の実測例を整理して次の関係を得た。

$$\begin{cases} f = C - 15(\%) & \text{東京西部の台地} \\ f = 0.001 C^2 + 0.65 C + 10(\%) & \text{東部の傾斜地} \end{cases}$$

自然地域の蒸発散は 850 mm/年に近いが^{§17)18)}、コンクリート面の多い 23 区内では 200 mm/年以下の地区もみられる。また、コンクリートや屋根の面では一回の降雨で、それぞれ 2 mm の蒸発による損失があるものとした。道路などからの初期の損失が相当な量に達することは、観察によっても分かる。以上の関係を調整して直接流出を求めると、自然を残す西部の台地上では 0 mm/年、台地末端の東部の市街地では 1,000 mm/年以上に達することもある。このような推定は現実の洪水対策には直接結びつかないが、都市の自然の管理計画には不可欠であろう。

細野（1978）は、三鷹・武蔵野両市の水収支について、興味深い数値をあげている¹⁹⁾。やや古い資料であるが、武蔵野市の場合降水量 1,299 mm/年に対して給水量は 1,544 mm/年になり、水道による給水のほうが雨より多い。蒸発散は 79 mm/年と、かなり少なく見積られているように考えられる。排水は下水道へ 1,070 mm/年、河川へ 1,703 mm/年と分配されている。降水量以上の河川流出が発生しているが、これは下水道が完備していない地区の特徴である。

このような巨視的な水収支計算は、時間的に平滑化された現象に適用するときには有効である。その一例が地下水の涵養で、上記の調査もこのために行なわれた²⁰⁾。コンクリートの拡大にともない、地中への浸透量はいちぢるしく減少する。この量を正確に把握することは困難であるが、不透水性面積に反比例する形で減少するものと仮定されている。したがって、都心部では地下水涵養量はいちぢるしく少なく、これが地盤沈下の原因となっている。地下水の揚水が規制されても、都市化が進行すればそれ自体によ

って涵養量は減少するので、地盤沈下の動向には今後も注視が必要であろう。

日本の都市は温帯多雨域にあるので、上に紹介した文献もこの気候条件を前提としている。乾燥地域では都市水文の問題はあまり大きくないと予想されるが、報告例はほとんどない。半乾燥地域ではいくつかの報告があり、日本とは異なった水文条件がのべられている。Morgan ら（1977）はカリフォルニア州サクラメント市の地区別に、熱収支計算を行なった²¹⁾。ここは夏に乾期で、自然地表面は乾燥し、蒸発散は生じない。都心部の CBD でも、裸地、緑地がないために蒸発散は生じない。ところが、公園や住宅の庭では撒水をするため、これらの地区の蒸発散量は莫大な量に達している。半乾燥のオーストラリアでも、同様な傾向がみられる²²⁾。

気候環境としてこれと対照的なものは、積雪・寒冷地である。積雪が継続する厳冬季には、高緯度地方では特に、融雪流出は発生しないと考えるのが常識である。ところが、都市では事情が異なる。モスクワの水収支をまとめた L'vovich によれば²³⁾、冬には雪の河川投棄のために、流出率はかえって大きくなっている。日本の積雪都市の冬の水収支の報告はないが、融雪道路（撒水）を実施している山形県以南と、それが行なわれていない北海道などでは水収支が大きく異なるのではないかと考えられる。日本の都市では積雪、融雪の分布が札幌で報告されているほか²⁴⁾²⁵⁾、融雪道路のための地下水揚水の調査が長岡市で報告されている²⁶⁾。その他にも積雪地の水収支研究例はあるが、ここで指摘するような都市水文を強調した例はない。

都市化の進行によって土地利用と水収支とは逐次変化するが、これを追跡するためには長年にわたる調査が必要である。日本では都市化のモデル地域として多摩ニュータウン大栗川でこの研究が着手されたが^{§27)}、建設初期の変化を追跡したにとどまった。筑波学園研究都市では、建設前後のハイドログラフの

変化が対比されており、地下水流出が減少し表面流出が増加する傾向が示されている²⁸⁾。これらはいずれも10年程度の期間内での追跡であるが、外国では相当長い年間にわたる追跡が行なわれている。Owe (1985)はペンシルバニア州で1937年から1982年までの流出傾向を解析し、都市化によって流出が変化することを巨視的に示した²⁹⁾。同様な報告は、Math-er (1978)にも記されている。アメリカの事例では、農地から宅地、都市への変化が極めて長時間かかり、農地が放棄され、それが山林となり、次に宅地化される例がみられる。都市化のプロセスは、日本とアメリカでは相当に異なり、その間の水収支も同一ではない。

以上のように巨視的な都市水収支を概観してみると、地理学の面においても研究すべき点が多く残されていることがわかる。まず、都市の物質収支がほとんど解明されていない。したがって、水収支の重要性も十分に認識されていない。汎地球的にみると、都市水文と気候条件については、ほとんど考察されていない。これは地理学的に特性を解明する点のみならず、上・下水道の設計にも係わる問題と思われるが、地球的視野での一般化は行なわれていない。この問題を要約しておけば、海外技術協力などにも役立つ情報となるであろう。第3は土地利用変化との関係である。水収支研究に有効な土地利用区分とその表現方法を提案し、その歴史的変化を再現することも、一つの試みとして考えられるのではないだろうか。

IV 洪水と渇水

都市化にともない洪水はより大きく、渇水はより小さくなる。この傾向は以前より常識的に云われてきたが、都市化のパラメーターと組み合わせて数値で示したのは Leopold である¹⁰⁾。Leopold の研究はすでに広く紹介されているが、不透水性面積率(%)と排水溝普及率(%)とをパラメーターとし、原況河

川の洪水ピーク水量に対する都市化後のピークの倍率を示したものである。例えば、両パラメーターがともに約50%のときには洪水は約3倍になり、ともに100%に達するとおよそ6倍になる。ここでいう洪水とは、再現期間2.33年の年平均洪水とみなされるものである。

その後、Hollis は不透水性面積率と再現期間とをパラメーターとし、都市化による洪水ピークの倍率を図示した³⁰⁾。ここでは、小さな出水、例えば再現期間数か月以内の出水では、ピークの倍率は20以上にも達するが、10年あるいはそれ以上の再現期間の大洪水では、この倍率は1.5程度であるとされた。Hollis の研究は極めて示唆に富んでいる。降雨強度が土壤の浸透率をはるかに上廻る大洪水の場合には、自然地表面もコンクリート面も、水文的には大きな差がなくなると解釈できる。一方、弱い雨では自然土壤の浸透率が降雨強度よりもはるかに大きく、浸透がほとんど行なわれないコンクリート地域との差が大きくなる。東京都内では有数の洪水河川である神田川は、江戸時代から洪水が頻発していたという記載がある³²⁾。洪水の原因が都市化だけではない点について、流域の見直しも必要であろう。

洪水ピークの予測手法については、最近莫大な数の論文が発表されている。基本的な手法については、Lazaro¹¹⁾、Hall¹³⁾に要約されているほか、水文学、土木工学関係の学会誌に多数掲載されている。洪水は水害をとまなうので、災害を強調した文献も少なくない³²⁾³³⁾。

渇水に関しては、ほとんど基礎資料がないのが現状である。一般に渇水時の流量は洪水流量と同様あるいはそれ以上に測定が困難であることと、流出研究が洪水発生に焦点を集めているのがこの理由である。都市化によって渇水量が低下することは、マクロな水収支からも想像はつくが、現実にはその機構は簡単ではない。特に、上下水道が渇水時には大きな影響を及ぼしている。東京においても上水道から

の漏水はかなりの量に達し、水収支上無視することはできない²⁰⁾⁵⁰⁾。下水道管は地中の水との交流が行なわれるように設計されており、管と地下水位との関係によって地下水から管への滲出、あるいはその逆現象が生ずるのが普通である。

ニューヨークのベッドタウンであるナッソー、サフォークの両郡は第2次大戦後に宅地化されたが、Pluhowski ら (1978) はこの地方の河川の基底流量経年変化を追跡し、都市化との関係をのべている³⁴⁾。この地方は水河堆積物におおわれているため透水性がよく、原況では平均流量に対する基底流量の割合は90%以上であった。対象6河川のすべてが1949年の調査においては、90%以上の値を示した。ところが1974年になると、ニューヨークに近い河川ではこの値が90%以下になり、最も顕著な例では約65%に下った。地下水位は20年間に2.1m低下したと見積られている。流域の住宅・都市化面積は40~70%であるが、地下水位の低下と湧水流量の減少は、都市化率に比例して発生している。この機構のなかでは下水道管が重要な役目をしており、地下水位の低下には、地下水の本管への浸出しが利いているものと推定されている。

東京郊外の野川では、かつては湧水がその水源の大半を占めていたが、都市化により湧水量が激減した。松尾 (1981) によれば、現在野川上流の流量のなかで、湧水が占める割合は10%以下である³⁵⁾。

Jens and McPherson⁹⁾, McPherson and Zuidema³⁶⁾ が指摘するように、都市化初期には水文環境は悪化し、その後回復に向う。すなわち、初期には地下水位低下、洪水の頻発、水質汚濁、表土の流出、河床変化などが生ずるが、その後上下水道が完備され、雨水の地下注入などが行なわれるようになると、水文環境は回復する。ただし、地形・地質、土地利用などの条件があるので、全ての河川がこの方向で変化するわけではない。東京都内の善福寺川流域では上下水道が完備し、水質は相当回復した。

ここは湧水も少なくはないが、善福寺川に隣接する神田川と石神井川では湧水が極めて少なく、下水道が不備なこともあり水質も悪い。都市河川の基底流量とそれを供給する地下水、湧水の問題は、若干例を除き研究は多くない²⁰⁾³⁷⁾。

以上の湧水・洪水の研究にあたっては、不透水地表、排水溝普及率、上下水道普及率などがパラメーターになる。不透水性面積は、空中写真より判読する方法が一般的であるが¹⁷⁾、今後はコンピュータMTの、国土数値データも利用できるであろう。ランドサットの利用も可能であるが、現状ではデータの加工が必要である。不透水性面積率と土地利用、人口密度などとの関係も求められてはいるが、汎用できる結果は得られていない³⁸⁾。

排水溝の普及率は、下水道統計などから得られるのが一般的であるが、道路自体が極めて良好な排水路であることは、しばしば忘れられている。道路を考慮に入れると、降雨時の水系は河川水系とは異ったものになる³⁹⁾。特に坂道が多い日本では、道路も水路と見るべきであろう。

以上、洪水と湧水に関しては、前項と同様に基礎的な土地情報の整理と提供が地理学の役目であるように思われる。また、湧水流量の発生機構の研究は、洪水の研究以上に地域に関する情報の総合化を必要とするので、地理学が寄与すべき問題である。河川流量に関しては土木工学がfirst handの資料を作っているが、土地条件に関しては地理学がそれを荷っている。この点において、地理学にも都市水文の研究に取り組むべき責任があるように思われる。ある研究分野で中心的な役目を果たということは、first handのデータを提供することでもある、と筆者は考えている。

V 河床変化

以上のべてきた不透水性地表と排水溝の拡大は、降雨時の出水を集中させ、洪水のピークを増大させ

る。この結果、もし河床が自然状態であったとするならば、浸食により河床は拡大する。日本の都市では、多くの場合すでに昔から河床が固定されているか、あるいはニュータウンの建設前に河道の整備が行なわれるので、自然状態での河床の拡大を観察することはできない。しかし、もし自然河道区間の上流に大規模な都市開発が行なわれる場合があれば、急激な河床変化を見ることができであろう。

Hammer (1972) はフィラデルフィア郊外の 50 の都市化流域と、28 の自然地域との河床断面を比較した⁴⁰⁾。各流域は土地利用によって区分され、さらに都市化流域では都市化後の年数によって分類された。自然流域では、流域面積 (A: 平方マイル) と河床断面 (C: 平方フィート) の間に、次の関係がある。

$$C = 24.8 A^{0.657}$$

ところが、都市化流域の河床断面 (C') はこれより広く、比 (C'/C) は 1.0~2.0 になった。すなわち、都市化により河床断面は 2 倍あるいはそれ以上に拡大する。河道の変化は 4~15 年続き、安定するには 30 年以上を要すると考えられている。

Hollis ら (1976) も同様な研究をイギリスの約 60 流域で行ない、完全に自然流域であった 1953 年とそれ以降の変化を追跡した⁴¹⁾。比 (C'/C) が 5 以上に達した例も報告されているほか、この比が不透水性面積率と関係があるとのべられている。Hollis が編集した文献¹²⁾ には、河道拡大の他の例も報告されているが、結果は Hammer, Hollis のものと類似している。

都市化が始まると植被がはがされ浸食が行なわれるとともに、河道の拡大も浸食を伴う。そのため出水時の濁度は、いちぢるしく大きくなる。場合によっては、自然流域の数 100 倍の濃度が観測されることがあり、下流ではそれらが堆積する⁴²⁾⁴³⁾¹²⁾。Hollis⁴¹⁾ によれば、都市下流の堆積量は、農地流域の 2.7 倍に達する例もある。しかし、建設工事が終了すればこれらの変化は次第に消え、30 年位経過す

ると新しい地表に対応した河川になる。都市河川の流送土砂、浸食、堆積に関しては、最近展望が発表されたので、それを参照してほしい⁴⁴⁾。

都市からは、土砂のみでなく種々の物質が流出する。都市河川の浮流物質の分析はほとんど行なわれていないが、緊急になされるべき問題である。都市に接した湖底や海底では、すでに自然界では見られない堆積層が形成されつつあるといわれている。これが将来環境にどのように作用するかは未知であるが、堆積物とあわせて、原因である浮流物質についてもくわしい情報を得るべきであろう。

都市化にともなう水系網の変化は各地で異っており、あえて一般化をする必要はない。水系網の変化を記載した例には Graf (1977) があげられ⁴⁵⁾、結果の一般性は無いが研究手法の応用面では役立つ。

以上のように概観すると、都市河川の地形変化はかなり顕著な現象であるといえる。しかし、さきに指摘したように、日本の都市では河道が固定されているために、この現象は観察しにくくなっている。この反面、洪水や水害が顕在するようになっているといえよう。都内の中小河川で河床に入ってみると、河床の損傷がかなり大きいことがわかる。河道が固定されているとはいえ、洪水時の営力は強いものであろうと想像できる。

大都市の周辺では地形の改変は、広い面積に及んでいる。人工地形の分類とその面積は把握されているが¹⁾、河川地形の変動に結びつけた検討はなされていない。地理学の立場から、内陸の地形改変、河川地形、下流ないし湖沼・沿岸での堆積を含めた研究が必要であろう。内陸部で都市開発が進行しつつある現在、都市化を強く意識した水文地形の研究が必要と考えられる。

VI 地下水と湧水

地下水と湧水については、すでに各項でのべたので、ここでは概要のみ記す。地下水揚水と人工地表

による涵養量の減少により、都市の不圧地下水位は低下し、湧水も枯渇する。武蔵野台地については、細野によれば1~2mの水位低下が生じている¹⁹⁾。しかし、23区内については井戸水位の測定さえも困難になり、現在都心部では正確な地下水位の把握も不可能に近い。

湧水は地下水位の低下に比例して、減少ないしは消滅する。1985~1986年の都内20河川の調査では、現在都内の湧水量は高度成長期以前の水量の1/10ないしは数10分の1にしか達していない³⁷⁾。かつての湧水河川であり、現在でも湧水量が多いとされている野川でさえも、その水量は激減している³⁵⁾⁴⁶⁾。武蔵野の風景にアクセントを添えている井の頭、善福寺、三宝寺などの湧水池も、昭和30年代から順次枯渇し、現在では深井戸による揚水で水を保っている⁴⁷⁾。

武蔵野台地の場合、帯水層である武蔵野礫層の分布範囲が余りにも広いために、本水の水位回復には相当な努力と時間とが必要であろうと考えられている。しかし、部分的には地下水位と湧水の回復が、不可能ではないであろう。地下水の枯渇はよく知られているように、地盤沈下をひきおこす。東京の地盤地下は低地部のみならず、台地部へも拡大しつつあり、地下水保全はこの点でも重要である。

地下水、湧水に関しては、地理学が相当量の first hand のデータを持っている。このデータを十分に活用するよう、整理すべきであろう。

VII 水のある風景

水に親しむという意味での親水、風景 (landscape) に対する水景 (waterscape) という用語は⁴⁸⁾、最近急速に市民権を得つつある。景観の研究は元来は地理学の課題であったが、最近では造園や土木、あるいは生態学のテーマであるかの感を受ける。それがさらに自然保護と混同され、都市の自然に関する行政は、不自然な方向へ進んでいるようにも思わ

れる。それ故、地理学の面から waterscape を検討することは、まさに急務であるといえる。

好ましい水辺環境に関する学問的な基礎は、ほとんど研究されていない。現在、いくつかの研究グループが、アンケート調査によって好ましい水辺の抽出を行なっているが、その結果と自然科学的に帰納される好ましい水辺とが一致するとは限らない。市民生活の側に立てば、見掛け上の好ましが優先することは当然であるし、これを尊重することも必要である。ところが、都市で見掛け上好ましい自然と、手が加えられていない自然との調和は、非常に困難な問題である。都市、農村を問わず、大半の市民が日常接する自然は、大なり小なり人工的な自然であることを忘れるべきではない。野性の自然は、人間活動と相容れない性格を持っている。

次に問題は二つに分けられる。それは自然の管理方法に関する問題であるが、第一の方法はできる限り自然の機構を利用しようとするものであり、第二は全く人工的に自然を演出するものである。後者の方法は、自然を破壊してきた建設工事と全く同じ発想であるように思われるが、効果が顕著なために歓迎される傾向もある。いわゆる親水公園は、計画をも含めて現在全国に100か所近くあるが、その多くが人工庭園的な発想である。筆者は公園としてのこのような施設を否定するものではなく、これを都市公園として位置づけるのであれば歓迎すべきであると考えている。しかし、しばしばこのような施設は自然の回復と混同され、真の自然環境の保全を阻害するように働いているとも考えられる。これは行政の問題というよりは、広い意味での教育の問題であろう。

いままで述べてきたように、自然の保全とは、自然の機構を最大限に活用することでもある。したがって、自然地理学、地理学の立場では、第一の方法に沿って好ましい水域を作ることが望まれる。この実現には時間を要するが、健全な都市を作るために地理学が主張すべき点である。その際に、地理学が

持つ情報を、理解しやすい形で整理しておく必要がある⁴⁹⁾。

21世紀には、現在の先進工業国のみでなく、全世界が都市の時代に入らざるを得ないであろうと考えられている。このような背景を考えると、都市に関する自然科学が成立しても不思議ではない。建設を目的とする工学系科学とは別に、都市の自然体系を解明する科学が必要になるであろう。気候・気象、水文、生物などで現在行なわれている都市研究が、都市の自然科学として発展することを期待したい。

水辺の問題については特に論評を加える材料が少ないので結論は出せないが、筆者が考えている方向を理解していただければ幸である。

VIII お わ り に

世界の都市の多くが、水を生産手段の一部として利用し発展したことは、疑いのない事実である。流通ルートやエネルギー源が都水内の水にあった時代には、水域は保全されていた。しかし、生産、流通手段が変化するとともに、都市の水域は単なる排水路としか認識されなくなった。この歴史的な視点の変化は、日本の河川行政に明確に表わされている。

最近、都市の水辺を回復させよとの声があるが、このためには現代の都市の水辺の役目を基礎から構築する必要がある。水域に重要な役目を与えることが、都市水域保全の基礎になるであろう。その際に、都市の水の循環について、正しい理解が必要になる。地理学の面では、都市水文学の研究はほとんど行なわれていないが、今後積極的に研究されることを希望したい。

(1986年7月20日受付)

(1986年9月21日受理)

参 考 文 献

- 1) 田村俊和・山本 博・吉岡慎一(1983): 大規模地形変化の全国的把握。地理学評論, 56巻, 223—242。
- 2) 市川正己(1975): 都市水文学への招待。ハイドロロジー, 7号, 1—8。
- 3) 市川正己(1978): 都市水文学の動向。市川・榎根編「日本の水収支」所収, 282—290, 古今書院。
- 4) 榎根 勇(1967): 都市の水文学。水処理技術, 8巻1号, 7—13。
- 5) 新井 正・市川 新・新藤静夫・吉越昭久(1987): 「都市の水文環境」共立出版。
- 6) 鯖田豊之(1983): 「水道の文化——西欧と日本——」285ページ, 新潮選書。
- 7) Linsley, R.K.J., M.A. Kohler and J.L.H. Paulhus (1949): “*Applied Hydrology*” 689 P. McGraw-Hill.
- 8) Chow, V.T. ed. (1964): “*Handbook of Applied Hydrology*” McGraw-Hill.
- 9) Jens, S.W. and M.B. Mc Pherson (1964): Hydrology of urban areas, in Chow, V.T. ed. “*Handbook of Applied Hydrology*” section 20, McGraw-Hill.
- 10) Leopold, L.B. (1968): Hydrology for urban land planning—a guidebook on the hydrologic effects on urban land use——, U.S. Geol. Survey, Circular, No. 554, 1—18.
- 11) Lazaro, T.R. (1979): “*Urban Hydrology—a multidisciplinary perspective*——” 249 p. Ann Arbor Science.
- 12) Hollis, G.E. ed. (1979): “*Man's Impact on the Hydrological Cycle in the United Kingdom*”, 278 p. GeoAbstract.
- 13) Hall, M.J. (1984): “*Urban Hydrology*” 299 p. Elsevier Applied Science.
- 14) 半谷高久, 松田雄孝編(1977): 「都市環境入門」, 262ページ, 東海大出版。
- 15) 中野尊正・沼田 眞・半谷高久・安部喜也(1973): 「都市生態学」126ページ, 共立出版(生態学講座28巻)。
- 16) Mather, J.R. (1978): “*The Climatic Water Budget in Environmental Analysis*”, 239 p. Lexington Books.
- 17) 新井 正(1979): 東京付近の気候学的水収支とその都市化による影響。立正大学文学部論叢, 65号, 1—16。
- 18) 新井 正(1986): 多摩川流域の水収支。「多摩川誌」所収, 156—172, 河川環境整備財団。
- 19) 細野義純(1978): 武蔵野台地の不圧地下水。市川・榎根編「日本の水収支」所収, 174—188, 古今書院。
- 20) 東京都公害局(1980): 「地下水収支調査報告書」570ページ, 東京都, 同「概要版」97ページ, 東京都。
- 21) Morgan, D., L. Myrup, D. Rogers and R. Baskett (1977): Microclimates within an urban area. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 67, 55—65.
- 22) Douglas, I. (1981): The city as ecosystem. *Progress in*

- Physical Geography*, Vol. 5, 315—367.
- 23) L'vovich, M.I. and G.M. Chernogayeva (1977) : Transformation of the water balance within the city of Moscow. *Soviet Geography*, Vol. 18, 302—312.
 - 24) 油川英明・石川信敬・成瀬康二 (1978) : 札幌市における雪の堆積分布の特性. 低温科学(物理編), 36 巻, 139—153.
 - 25) 油川英明・石川信敬・成瀬康二 (1978) : 札幌における都市の融雪特性. 低温科学 (物理編), 36 巻, 156—168.
 - 26) Kayane, I. (1980) : Groundwater use for snow melting on road, *GeoJournal*, Vol. 4, 173—181.
 - 27) 流域の水収支研究グループ (1974) : 大栗川流域における水文観測. 山本荘毅編「首都圏における河川および地下水の水収支に関する水文学的研究 (科学研究費報告書) No. 3」, 171—195.
 - 28) 田中 正・間島政紀・佐藤芳徳 (1980) : 蓮沼川および西谷田川の流出特性について——トリチウムと電気伝導度によるハイドログラフの分離——. 筑波の環境研究, 5—A, 20—25.
 - 29) Owe, M. (1985) : Long-term streamflow observations in relation to basin development. *Journal of Hydrology*, Vol. 78, 243—260.
 - 30) Hollis, G.E. (1975) : The effect of urbanization on floods of different recurrence interval. *Water Resources Research*, Vol. 11, 431—435.
 - 31) 鈴木理生 (1978) : 「江戸の川, 東京の川」日本放送出版協会, 293 P.
 - 32) 宮田 正 (1969) : 石神井川流域の都市化による流出変化と水害の傾向に関する考察. 地理学評論, 42 巻, 667—680.
 - 33) 虫明功臣 (1980) : 都市開発と水害. 環境情報科学, 9 巻 3 号, 12—18.
 - 34) Pluhowski, E.J. and A.G. Spinello (1978) : Impact of sewerage systems on stream base flow and groundwater recharge on Long Island, New York. *Journal of Research, U.S. Geological Survey*, Vol. 6, 263—271.
 - 35) 松尾禎士 (1981) : 「野川に関する水収支および水溶存物質の涵養源の研究——安定同位体比測定手法の導入——」, 17 P.
 - 36) McPherson, M.B. and F.C. Zuidema (1978) : *Urban hydrological modeling and catchment research: international summary* (Technical Papers in Hydrology No. 18), UNESCO, 48 P.
 - 37) 新井 正 (1986) : 「東京都中小河川流域の湧水と河川流量・水質」86 p. 立正大学応用地理調査所.
 - 38) Cermak, R.J., A. Feldman and R.P. Webb (1979) : Hydrological land use classification using LANDSAT. in "Satellite hydrology", 262—269, American Water Resources Association.
 - 39) Bannister, N.E. (1979) : Impact of road networks on Southeastern Michigan lake-shore drainage. *Water Resources Research*, Vol. 15, 1515—1520.
 - 40) Hammer, T.R. (1972) : Stream channel enlargement due to urbanization, *Water Resources Research*, Vol. 8, 1530—1540.
 - 41) Hollis, G.E. and J.K. Luckett (1976) : The response of natural river channels due to urbanization, two case studies from Southeast England, *Journal of Hydrology*, vol. 30, 351—363.
 - 42) Wolman, M.G. and A.P. Schick (1967) : Effects of construction on fluvial sediment, urban and suburban area of Maryland, *Water Resources Research*, Vol. 3, 451—464.
 - 43) Walling, D.E. and K.J. Gregory (1970) : The measurement of the effects of building construction on drainage basin dynamics. *Journal of Hydrology*, Vol. 11, 124—144.
 - 44) Douglas, I. (1985) : Urban sedimentology. *Progress in Physical Geography*, Vol. 9, 255—280.
 - 45) Graf, W.L. (1977) : Network characteristics in suburbanizing streams. *Water Resources Research*, Vol. 13, 459—463.
 - 46) 高村弘毅 (1981) : 国分寺崖線の湧水について (基礎資料編), 立正大学人文科学研究所年報, 19 号, 33—42.
 - 47) 新井 正 (1976) : 井の頭公園池の水収支, 水温の研究, 3 巻, 1 号, 25—29.
 - 48) Hengevald, H. and C. deVochet ed. "Role of water in Urban Ecology", Elsevier, 326 p.
 - 49) 新井 正 (1980) : 「日本の水——その風土の科学——」三省堂, 278 p. (「水の地理学」の項を参照).
 - 50) 山本荘毅 (1983) : 上水道における漏水の水文学. 立正大学人文科学研究所年報, No. 21, 55—65.
- この他に多数の文献が発表されているが, それらについて新井・市川・新藤・吉越 (1987) を参照してほしい. 文献目録としては次のものがある.
- McPherson, M.B. (1979) Urban hydrology, *Reviews of Geophysics and Space Physics*, Vol. 17, 1789—1297.
- 都市の広意義な自然環境については, 次の論文で要領よく紹介されている.
- Douglas, I. (1981) : The city as an ecosystem. *Progress in Physical Geography*, Vol. 5, 315—367.

Urban Hydrology

—— Geographical Approach to Urban Hydrology ——

Tadashi ARAI*

The extension of urban land surface has modified the original nature of physical environment within the area. Although climatic and biotic changes have attracted many attentions, changes on water balance in the city must be taken as a factor controlling the modification. This paper summarizes the development of urban hydrology, and proposes several geographical approaches to the study.

Since the study of urban hydrology combines water movement and land use, it seems that wide fields of the research are provided for geographers. To summarize urban landform, land use, road and channel networks for hydrological purposes may be the urgent works. Transport of water, food, fuel, industrial products and so forth, must be evaluated geographically. Water balance of cities in different climatic regions in the world have to be examined, and the result will give useful information for the planning of cities in developing countries.

Changes in groundwater level and spring have been studied by geographers. The importance of spring water on river environment will increase in the future. Artificial modification of landform and its geomorphological results, such as river bed enlargement, increase in suspended transport and deposition, must be studied systematically.

Basis for the analysis of “waterscape” have not been established, but the problem seems to be important for urban geography.

* Rissho University