

(53) 森林河川水質と集水域内地質・植生との関係の評価

Relationship between Water Quality in Forest-Rivers  
and Geographical and Botanical Properties of Watershed

永礼英明<sup>1)</sup>, 藤井滋穂<sup>1)</sup>, 宗宮 功<sup>2)</sup>, 芹澤佐和子<sup>3)</sup>

Hideaki NAGARE<sup>1)</sup>, Shigeo FUJII<sup>1)</sup>, Isao SOMIYA<sup>2)</sup> and Sawako SERIZAWA<sup>3)</sup>

**ABSTRACT;** This paper focuses on the relationship between water quality in forest-rivers and properties of their watershed in geology and/or botany to find out the mechanism which determines water quality in forest-rivers in mountainous area. Water quality in 26 forest-rivers was investigated at upper streams of rivers in the Lake Biwa watershed, and their properties were determined from geological or vegetation map to explore the relation between them. Those 26 rivers were separated into 6 groups based on their watershed properties, while nutrient concentration in such groups were different each other, suggesting certain geological or botanical property, or a pair of geology and vegetation determines nutrient concentration in river.

**KEYWORDS;** Forest-river, watershed property, nutrient concentration.

1. はじめに

水源となる湖沼、河川の水質を維持することは非常に重要な課題であり、それら水域への汚濁物質負荷流入量の削減が必要である。1,400万人に各種用水を供給する琵琶湖においては、集水域のほとんどを森林が占め(73.4%, 市木ら, 1996)、森林河川の水質が他の負荷発生源からのそれに比べ良好であるものの、負荷流出としては無視し得ない量となり、何らかの対策が必要と考えられる。

森林河川の水質は地質、地形、土壌、植生、気候など多くの要素の影響を受けているとされている(國松・須戸, 1997)。従来、これら影響因子と水質との関係の評価した研究がなされてきた。例えば、ラヒムら(1997)は広葉樹林面積割合とTOC、COD濃度の間に比較的高い正の相関がある一方、針葉樹林面積割合は負の相関を示したと報告している。福島・松重(1995)は崩壊地面積率が高いとアンモニア態、硝酸態窒素濃度が高くなることを示した。國松・須戸(1997)は比較的距離の近い琵琶湖集水域内の5つの森林を比較し、同じ花崗岩地質でありながら水質が異なることを示し、花崗岩の性質、植生、気候などの影響を指摘している。さらに、流量、降水量、林齢などとの関係についても研究がなされている(例えば、ラヒムら, 1997; 福島・松重, 1995)。このように流域の特性と河川水質との関係について研究がなされてきた。しかし、それらの結果は矛盾するものも存在し、真実は明らかとなっていない。

本研究では、琵琶湖集水域を対象に、森林河川の水質を流域特性、すなわち地質と植生との関係において把握することを目的とする。ただし、事前の評価において、本研究の対象流域では地質と植生が独立な関係ではなく、ある種の地質には固有の植生が優占する場合があることがわかってきたため、地質-植生という組み合わせを念頭に置き、水質との関係の評価する。

1) 京都大学環境質制御研究センター (Research Center for Environmental Quality Control, Kyoto University)

2) 龍谷大学理工学部 (Faculty of Science and Technology, Ryukoku University)

3) 日本上下水道設計(株) (Nippon Jogesuidou Sekkei Co., LTD.)

## 2. 方法

### 2.1 水質調査

琵琶湖集水域の森林河川を対象に、Fig. 1に示す地点において1998年に2度、水質調査を実施した。1度目の調査は、1日に3から8地点を対象にしたサンプリングを6月から8月にかけて計6回実施し、最終的に26地点の水質を得た。2度目の調査では26地点の調査を連続する2日間（10月5、6日）に実施した。各調査の前3日間に降雨は観測されなかった。調査地点は住居や耕作地など人為活動がない河川上流部の森林域に設定した。

### 2.2 流域特性の整備

各調査地点の集水域は国土地理院1/50,000地形図で判読し、土地利用、植生は各々1/100,000地質図（滋賀県自然保護財団, 1979）、1/50,000植生図（環境庁, 1987）から読みとった。地質は火山岩、深成岩、火山砕屑岩、砕屑岩、生物岩、その他の6種に、植生はブナクラス代償植生、ブナクラス自然植生、ヤブツバキクラス代償植生、植林地・耕作地植

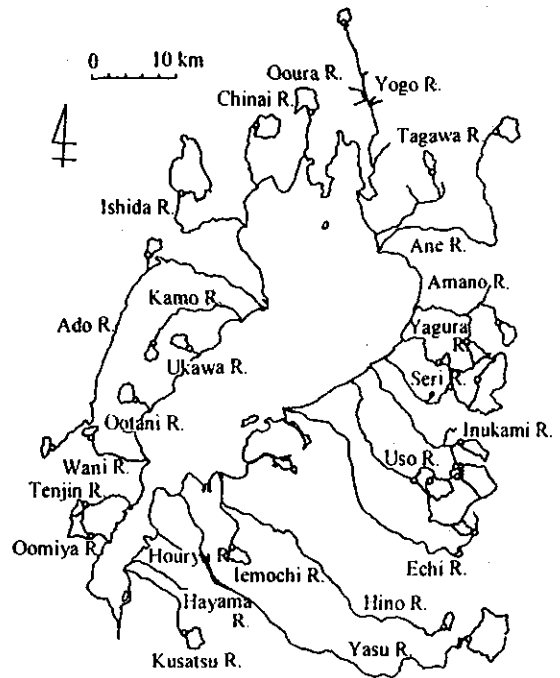
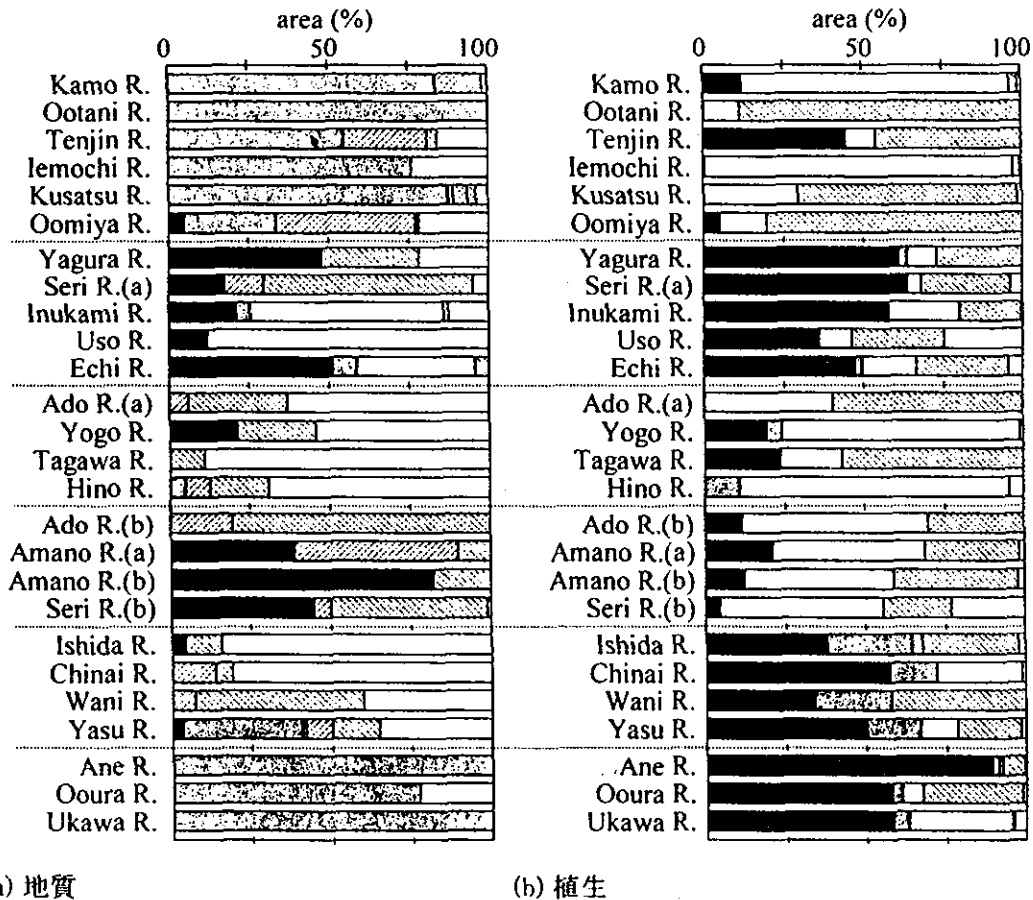


Fig. 1 採水地点とその流域



(a) 地質

(b) 植生

Fig. 2 調査対象流域の地質、植生

生、その他の5種に分類した。各調査対象流域の地質、植生をFig. 2に示す。

### 2.3 統計解析

流域特性をもとに因子分析およびクラスター分析を実施し、流域を流域特性の類似するグループに分類した。因子分析とは変数間の相関構造を類推する統計手法であり、本研究ではクラスター分析の前処理として、流域特性から冗長性を排除し独立な変数を抽出することを目的としている。本分析においては、2.2に記載の地質6種、植生5種を入力し、固有値が1.0より大きい因子を抽出、得られた因子をもとに各流域の因子得点を計算した。さらにこれら得点をもとにクラスター分析を実施することで、流域を流域特性の類似するグループに分類した。

## 3. 結果および考察

### 3.1 森林河川の水質

水質の累積頻度分布をFig. 3に示す。なお、同図の作成においては全ての調査結果を用いた。図中には琵琶湖の平均濃度、および全窒素、全リンに関しては雨水中の平均濃度（滋賀県南部の森林域で測定；藤井ら、未発表）を併せて示した。

全窒素濃度は0.3～1.2 mg/Lの範囲にあり、全リン濃度は0.005から0.03 mg/Lにあった。窒素に関

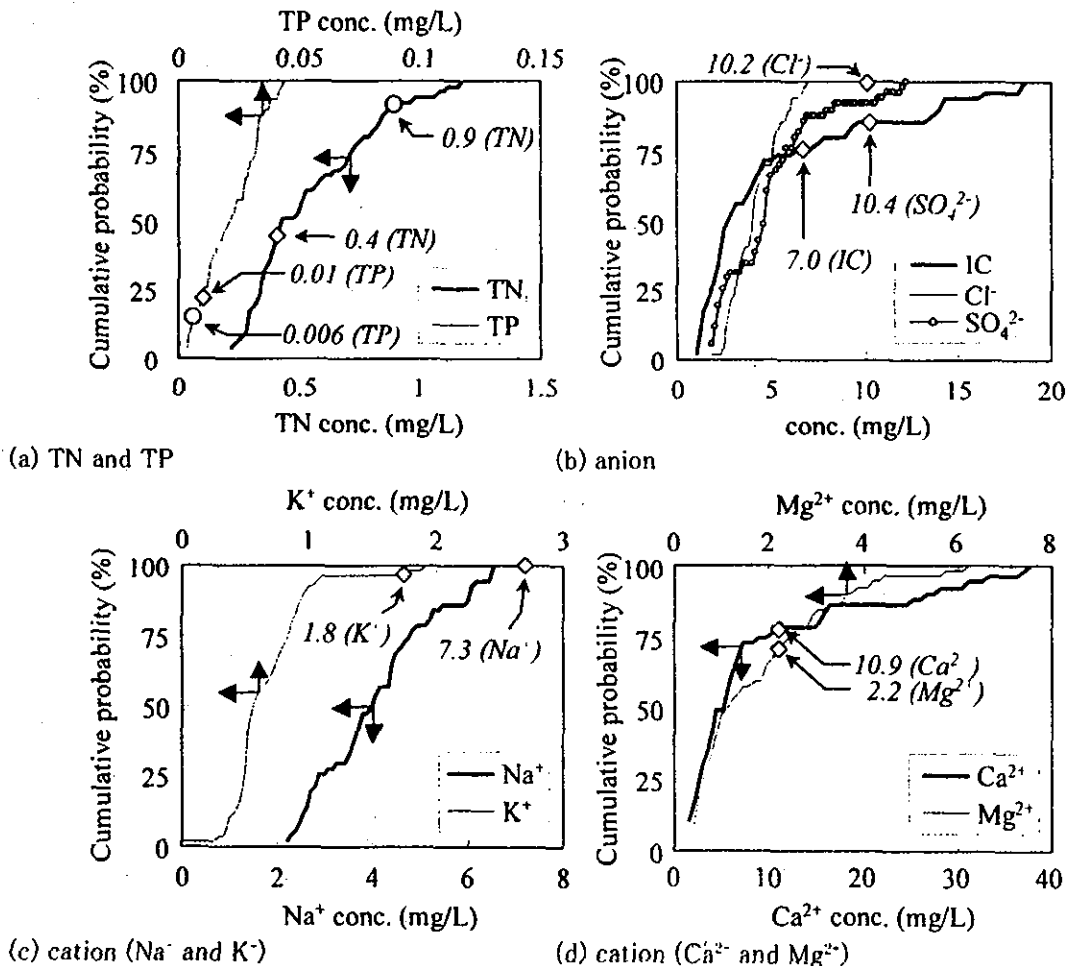


Fig. 3 森林河川の水質頻度分布

琵琶湖の平均水質を併せて示した（図中◇）。また、TN、TPについては降雨の平均値も同時に表した（図中●）。なお、図中の矢印（↖↘）は参照する軸を表す。



ところで、グループ1は地質においてグループ6と同様に深成岩が多くを占める。さらに、グループ1では、全窒素濃度は深成岩面積に比例して低下し ( $R = -0.83$ )、砕石岩面積に比例し上昇する ( $R = 0.85$ ) 傾向が見られた (Fig. 6)。この結果は、深成岩あるいは砕屑岩が全窒素濃度に影響を及ぼしている可能性を示している。國松と川地 (2000) は堆積岩、すなわち本論文での火山砕屑岩、砕屑岩、生物岩の地域において硝酸態窒素濃度が高いと報告し、Fujii *et al.* (2001b)

もまた同様な結果を示している。本論文での結果もこれらの報告と矛盾するものではない。ただし、グループ1では深成岩と砕石岩の面積に強い相関関係 ( $R = -0.93$ ) があったことから、どちらがより強く影響を及ぼしているかは断定できない。むしろ、後述するグループ1と6の比較から、深成岩の影響がより強いのではないかと考えている。

グループ6とグループ1の水質を比較すると、グループ6は上述のように全窒素濃度が低く、全リン濃度が高いという特徴を示した。一方、グループ1は窒素、リンともに今回の結果では平均的な値であった。この違いに関し考察してみる。

Fig. 6(a) におけるグループ1の相関関係において、深成岩面積77~100%のとき (すなわち、グループ6の深成岩面積割合) の全窒素濃度は約0.3~0.5 mg/Lとなっている。この値はグループ6において実際に観測された窒素濃度 (0.2~0.4 mg/L程度) と近い。また、グループ6の地域においては、砕屑岩は見られなかった。このことから、これらのグループにおいては深成岩面積が全窒素濃度に影響を及ぼしていると考えられる。

グループ1では、全窒素濃度と同様に、深成岩、砕屑岩面積と全リン濃度との間に相関関係が見いだされた (Fig. 7、相関係数は0.88、0.77)。しかし、濃度は窒素と逆に、グループ6において高い結果となり、グループ6は今回の調査結果の中では比較的高い濃度を示し、グループ1との比較においても、グループ1の平均値が0.019 mg/Lであるのに対し、グループ6では0.025 mg/Lと高かった (中央値では、グループ1: 0.018 mg/L、グループ6: 0.031 mg/L)。林地の河川水質は多くの因子の影響を受けていること (國松・須戸, 1997)、今回のサンプル数が少ないことから、単純に結論づけることは出来ないが、グループ1と6の植生の違いに注目しても間違いではないと思われる。

グループ6ではブナクラス代償植生が58~89%を占め、優占している。グループ2、5においても同植生は多くを占めているが、リン濃度の分布は平均的である。このことから、深成

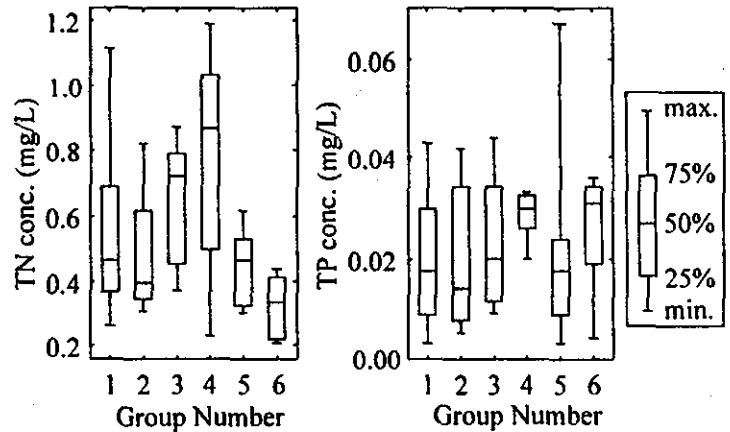
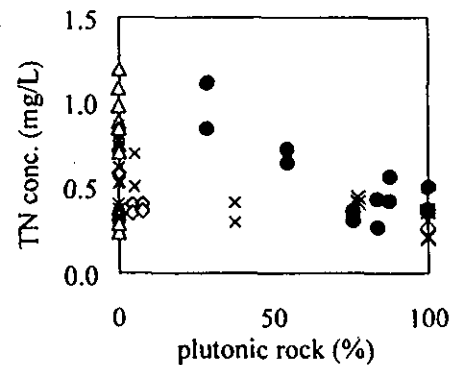
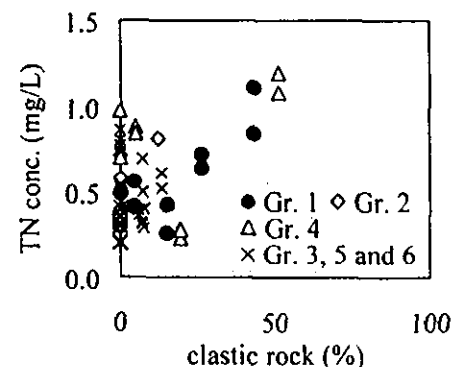


Fig. 5 分類されたグループの全窒素、全リン濃度分布



(a) TN-深成岩



(b) TN-砕屑岩

Fig. 6 全窒素濃度と深成岩、砕屑岩との関係

岩-ブナクラス代償植生という組合せにおいて、リン濃度を上昇させる機構が作用するのではないかと考えられる。

また、グループ4でもリン濃度が高い範囲に分布した (Fig. 5)。グループ4の植生はグループ1、3のそれに類似するものであることから、濃度の差は主に地質に起因するものと考えられる。グループ4の地質の特性は火山岩、生物岩、およびその他 (主に粘板岩) が多いことであり、これらのいずれか、あるいはこれらの地質とヤブツバキクラス代償植生との組み合わせが影響を及ぼしているものと推測される。

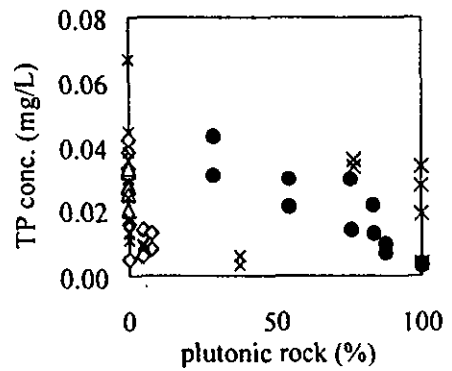
### 結論

本論文では、琵琶湖集水域に存在する森林河川の水質と流域特性との関連性について議論した。結論を以下に示す。

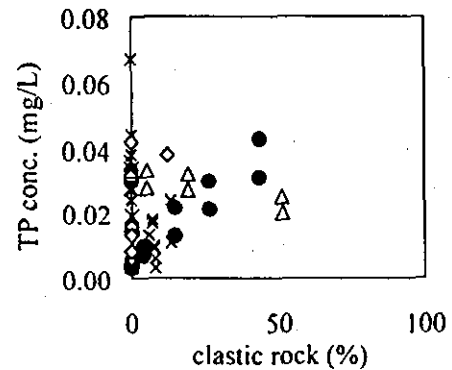
- 1) 森林河川の全窒素、全リン濃度は琵琶湖内よりも高く、本集水域においては多くの森林が栄養塩供給源となっている。
- 2) 本研究で対象とした26河川は、地質および植生の違いから6つのグループに分類することが出来た。また、地質・植生に基づき分類されたこれらグループは、異なる栄養塩濃度分布を示し、地質あるいは植生、または地質-植生の組み合わせが栄養塩濃度に影響を及ぼしている可能性が考えられた。本研究で見られた関係を以下にまとめる。
  - 深成岩面積が多いと全窒素濃度は低い。
  - 深成岩-ブナクラス代償植生が多いとリン濃度は高い。
  - 火山岩、生物岩、粘板岩を含む地質とヤブツバキクラス代償植生との組合せではリン濃度が高い。

### 参考文献

- 環境庁 (1987) 現存植生図。
- 滋賀県自然保護財団 (1979) 滋賀県地質図。
- Fujii, S. and Somiya, I. (1999) Effects of Precipitation and River Loads on Water Quality Formation in Lake Biwa. *ASIAN WATERQUAL Conference Preprint*, 1363-1368, Taipei, October.
- Fujii, S., Somiya, I., Nagare, H. and Serizawa, S. (2001a) Water Quality Characteristics of Forest Rivers around Lake Biwa. *Water Science and Technology*, 43(5), 183-192.
- Fujii, S., Tanaka, H. and Somiya, I. (2001b) Quantitative comparison of forests and other areas on dry weather input loading in the Lake Biwa catchment area. *5th Internat. Conf. Diffuse/Nonpoint Pollution and Watershed Management*, Milwaukee, USA, July.
- 市木敦之, 大西敏之, 山田 淳 (1996) 集水域における下水道整備進捗にともなう琵琶湖流入汚濁負荷量の変化. *日本水環境学会誌*, 19, 109-120.
- イリシャット・ラヒム, 柿本大典, 今井 剛, 浮田正夫 (1998) 森林流出水の水質特性と森林植生の水源涵養機能に関する研究. *土木学会論文集*, 594/VII-7, 73-83.
- 國松孝男, 川地 武 (2000) 高濃度硝酸態窒素流出林地の分布と地層. *日本水環境学会シンポジウム講演集*, 3, 104-105.
- 國松孝男, 須戸 幹 (1997) 林地からの汚濁負荷とその評価. *水環境学会誌*, 20(12), 810-815.
- 福島武彦, 松重一夫 (1995) 山林河川における流域特性と水質との関係について. *水環境学会誌*, 18(11), 909-916.



(a) TP- 深成岩



(b) TP- 碎屑岩

Fig. 7 全リン濃度と深成岩、碎屑岩との関係

## **Development of Waterborne Disease Transmission Model based on Multi Agent Simulation Technique**

\*Hideaki NAGARE and Hiroshi TSUNO

*Department of Urban and Environmental Engineering,  
Graduate school of Engineering, Kyoto University, Japan*

### **ABSTRACT**

Despite the construction of water and wastewater systems in modern society, waterborne disease is still one of the biggest issues to be coped with in the field of public sanitation. In this paper, a prototype of novel model to evaluate microbial health risk is to be presented. The model is based on multi agent simulation technique, which simulates the movement of each agent that represents individual or small group of individuals. The prototype imitates the movement of individual and transmission of disease in an imaginary small area.

### **KEYWORDS**

Waterborne disease, transmission model, multi agent simulation

### **INTRODUCTION**

Construction of water and wastewater systems significantly decreased the occurrence of waterborne disease, which, however, is still one of the threats to our society. In 1993, the largest *Cryptosporidium* outbreak in the USA occurred in Milwaukee, WI where 400,000 people were ill and 100 died (Rose et al., 2002). Such outbreak of *Cryptosporidium* also struck a small town Ogose, Japan in 1996 (Suwa and Suzuki, 2001).

As a tool for microbial risk assessment, Chick et al. (2001) proposed a model which simulates infection transmission systems of waterborne disease. The model had four state variables; three concerning with human beings (the number of individuals who are susceptible, infected or recovered from the disease) and one which represents the concentration of microbial organisms in the environment. The relationship between those variables is illustrated in Fig. 1. The susceptible individuals is fine and don't have immunity to the disease. With some probability, the susceptible are infected due to the contact with infectious microbial organisms in the environment or infectious individuals. The infected increase the concentration of microbes in the environment through excretion, and make the susceptible to be infected due to direct infection. The infected individuals recover af-

ter some time. The individuals with the status of recovered have resistance to the disease, which is to be lost with time though.

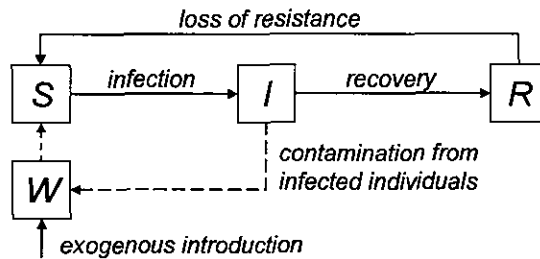


Fig. 1 The scheme of infection transmission model proposed by Chick et al. (2001). The letters  $S$ ,  $I$ , and  $R$  are the number of individuals who are susceptible, infected or recovered from the disease, respectively, while  $W$  denotes the concentration of microbial organisms in the environment.

The model is of great availability in the real society, but has one limitation: it cannot predict the spread of infected area. As the model only concerns the change in numbers of individuals or concentration of microbes in an area within imaginable but concrete border, modification of the model is required to predict such expansion of the area.

In this paper, a new disease transmission model is proposed. In the model, the expansion of infected area can be simulated as well as the change in numbers of individuals and concentration of microbes.

## MODEL DESCRIPTION

### 1. Multi agent simulation

In the new model, multi agent simulation technique was applied. Within the calculation area located many representatives called *agent*, each of them represents individual or small group of individuals, and moves autonomously within the area. Multi agent simulation originates in the work of Schelling (1969) who simulated the separation of residential area in a city.

### 2. Calculation conditions and movement rule of agent

An imaginary area was set for the simulation: the size of the area was 4 x 4 km in north to south, and in east to west. In the area, four offices were located, and 300 agents lived. Figure 2 illustrates the initial condition of the calculation world.



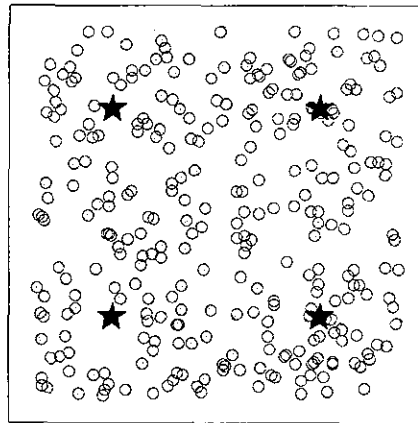


Fig. 2 The initial condition of the agent simulation. Each of the small circles is the agent, and four stars ("★") are the offices, to one of which agent goes to work. The numbers of agent was 300 in this case.

In the prototype model, only one kind of agent was made. The agent imitates the movement of office worker, leaving home for office in the morning, working in the office or sometimes traveling to another office during daytime and going back to home in the evening. Each agent has its own house and office which is chosen one from four offices randomly at the beginning of the simulation.

The time of departure from and return to home is set randomly within two hours from 7 to 9 o'clock (departure), or 17 to 19 o'clock (return home) for each agent. Every agent leaves home to his/her office at the scheduled time with a speed of 4 km/hr. During the work time, some of the agents in an office are chosen randomly with a probability of 0.5% to take trip to another office, which is also selected randomly from the other three offices. When it is the time to go back to home, the agent starts returning to home by walk.

### 3. Disease transmission

The concept of the model made by Chick et al. (2001) was introduced in this multi agent model. But, for the simplification, transmission from microbial organisms to human being was ignored, while human-to-human infection was considered instead. The status of agents who live in the south-western part of the area is set to *infected* at the initial condition. Those infected agents move around the area as well as those who are not infected.

At the point in which an infected agent stays and many susceptible agents gather like work place infection occurs with a probability of  $\beta$ . The occurrence of infection is decided for each susceptible agent with a random number. If the infection occurs to an agent, the infection status of the agent is changed from *susceptible* to *infected*, getting an ability to cause other infection. After some time defined by a parameter  $\tau_1$ , the infected agent recovers from the disease and gains the resistance to it. But, this resistance is to be lost after some time defined by a parameter  $\tau_2$ .

## MODEL RESULTS

### 1. Simulation result of agent movement

Figure 3 illustrates the movement of an agent in one day. It left home to office, took two trips in daytime, and returned to home. This is the typical movement of agent, but some didn't take any trips between offices.

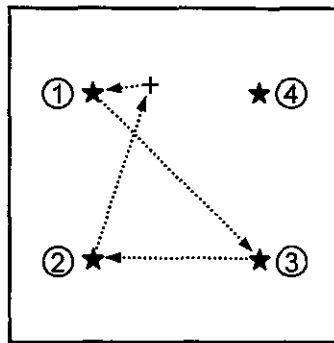


Fig. 3 The movement of an agent in one day. The agent left his/her home ("+") to the office in upper left ("★"①) in the morning. During the work time, the agent made two trips; the one from ① to ③, and another one from ③ to ②. In the evening it went back to the home.

Figure 4 shows pictures of the world at 8 and 14 o'clock. In the morning (8 o'clock), some had already left his/her home to office, but some still stayed in home. During the work time (14 o'clock), most of the agent stayed in offices, but some were on his/her way to one of the other offices.

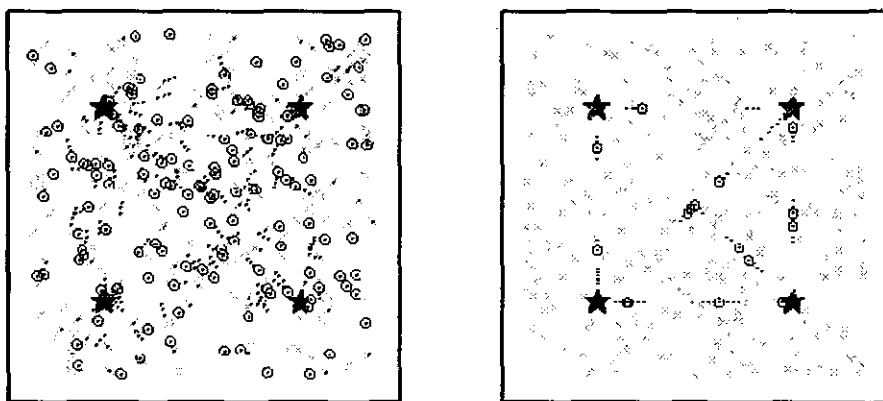


Fig. 4 Location of the entire agent at 8 o'clock (left) and 14 o'clock (right).

## 2. Simulation result of disease transmission

In order to demonstrate the availability of the model, a disease transmission simulation was conducted. In the simulation, the parameter values of infection probability ( $\beta$ ), the time required to be recovered ( $\tau_1$ ), the time to lose resistance to the disease ( $\tau_2$ ) were assumed to be  $0.24 \text{ day}^{-1}$ , 3 hrs, and 3hrs, respectively, although those values seem unrealistic indeed: the probability is too high to cause other infection, the time for recovery and losing resistance is too fast (c.f.  $\beta=0.01\sim 0.1 \text{ day}^{-1}$ ,  $\tau_1$  and  $\tau_2 = 0.5\sim 5$  days in case of enterovirus (Eisenberg et al., 2004)).

At the beginning of the day, the infection status of five agents stayed around lower left corner was made to be *infected*. Those infected agents moved around as usual, transmitting the disease to the agents encountered. The changes in numbers of each infection status were shown in Fig. 6. As time elapsed, the number of *infected* increased, followed by the *recovered*. At the end of the day at 20 o'clock, infected or recovered agents were found not only in the lower left corner but in entire area as shown in Fig. 5 (left). This result indicates the disease transmission was simulated successfully in the multi agent model.

The one fact we found in the simulation was that the maximum number of the infected were different in every simulation even though the same parameter values were used. This was due to the difference in movement and location of residence of agents; those were designed randomly at the beginning of every simulation. This fact points out that the rate and magnitude of disease transmission depends on not only the infection probability but also the movement pattern of individuals in the area, or in other words the infection probability should reflect the movement pattern of individuals.

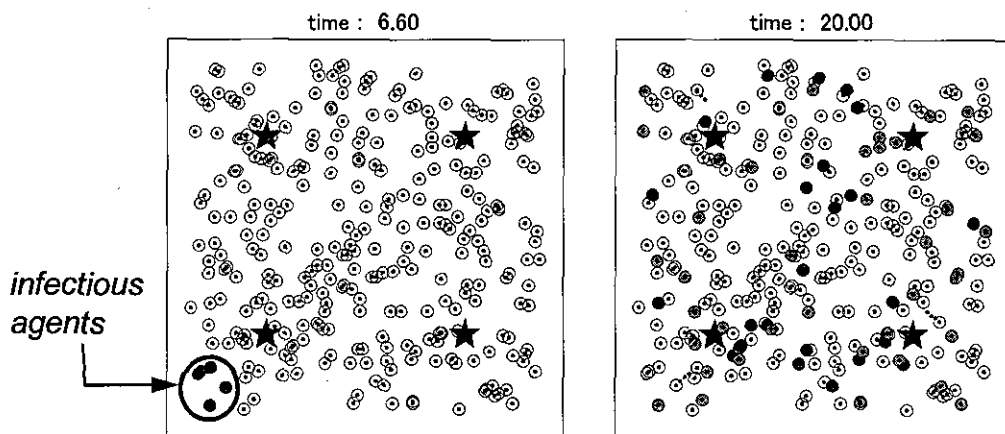


Fig. 5 The initial condition (left) and the result at 20 o'clock (left). The colored circle indicates the agent who is infected or recovered.

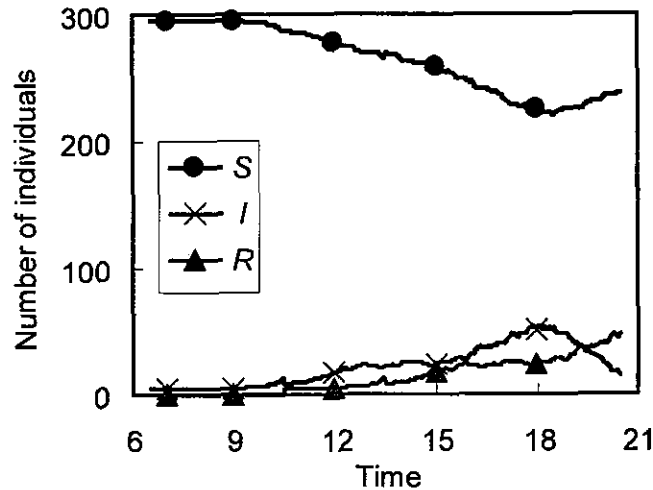


Fig. 6 The changes in number of individuals who is susceptible (S), infected (I) or recovered (R). The initial number of infected was five in the simulation.

### CONCLUSIONS AND PERSPECTIVES

In this paper, a prototype of novel model to evaluate microbial health risk was presented. The model was based on multi agent simulation technique, which simulated the movement of each agent that represented individual or small group of individuals. The prototype imitated the movement of individual and transmission of disease to an acceptable degree, and showed the importance of movement pattern of individuals in the area on transmission rate and scale.

While the model result is acceptable to some degree, the model requires more development indeed especially in the following aspect:

- 1) increasing the number of agent
- 2) increasing the type of agent and introducing more complex movement rules

Needless to say, model validation based on epidemiological survey is indispensable.

### REFERENCES

- Chick, S. E., Koopman, J. S., Soorapanth, S. and Brown, M. E., Infection transmission system models for microbial risk assessment. *The Science of the Total Environment*, 274, 197-207 (2001).
- Eisenberg, J. N., Soller, J. A., Scott, J., Eisenberg, D. M., and Colford Jr., J. M., A Dynamic Model to Assess Microbial Health Risks Associated with Beneficial Uses of Biosolids. *Risk Analysis*, 24(1), 221-236 (2004).
- Rose, J. B., Huffman, D. E., and Gennaccaro, A., Risk and control of waterborne cryptosporidiosis, *FEMS Microbiology Reviews*, 26, 113-123 (2002).
- Schelling, T. C., Models of Segregation, *American Economic Review*, 59(2), 488-493 (1969).
- Suwa, M. and Suzuki, Y., Occurrence of Cryptosporidium in Japan and countermeasures in wastewater treatment plants, *Water Sci. & Tech.*, 43(12), 183-186 (2001).

## 水環境シミュレーション 水質汚濁機構の解明

京都大学大学院工学研究科  
永禮 英明

### 1. はじめに

本講演では筆者が取り組んできた琵琶湖の水質形成機構解明に関する研究を例に、主に湖における水環境研究とシミュレーションとの関係について紹介する。

### 2. 琵琶湖水質調査

これまでに琵琶湖において非常に多くの水質調査が行われてきたし、現在も行われている。しかし、琵琶湖が非常に大きいということも理由の一つであるが、琵琶湖全域を対象とした調査は1962～1965年に実施された琵琶湖生物資源調査と1992年に実施された水環境現況総合調査の2つしか見あたらない。さらに、季節変動や時間方向での平均的水質を把握するために一定期間継続したものとなると、前者の琵琶湖生物資源調査のみとなる。

琵琶湖のように規模の大きい湖沼でこそ、空間方向での水質分布の違いを把握することが重要なのであり、なおかつ琵琶湖が関西圏1,400万人に各種用水を供給し、農・漁業の場、観光の場としても重要な存在であることから、継続的なモニタリングが実施されてしかるべきであるが、現実にはそのような調査はほとんど行われてこなかった。

これまで比較的清澈な水質を維持してきた琵琶湖北湖において、CODの上昇やアオコの発生など水質悪化を懸念させる現象が報告がなされている。さらにピコプランクトンの大量発生、チオプロローカの発見など生態系の変化を示す報告もあり、琵琶湖の水質がどのような過程を経て形成され、どのような方向に変化しつつあるのかを把握することは非常に重要な課題であると考えた。

そこで、筆者ら京都大学水環境研究室のグループは建設省(当時)、(財)琵琶湖・淀川水質保全機構のご協力のもと、立命館大学と共同で琵琶湖全域を対象とした水質調査を実施した。調査は1995年4月から2000年1月までの約5年間、3ヶ月に1度の頻度で湖内75の地点において測定するというものであった。概要を図1に示す。

このような湖全域を対象とした継続的な調査により、図2に示すような水質の分布特性およびその季節変化が明らかとなった他、後述する湖内物質存在量の推定が可能となるなど、水質形成機構の一部を解明することが可能となった。

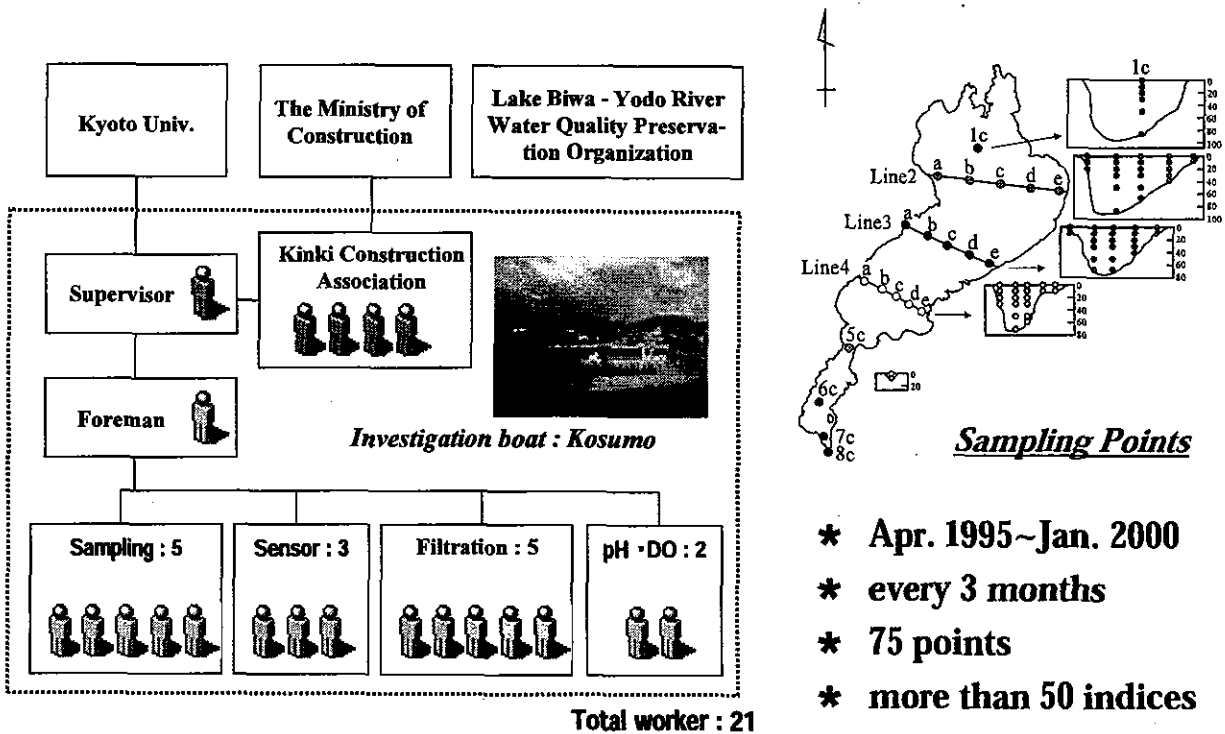


図1 琵琶湖水質調査の概要

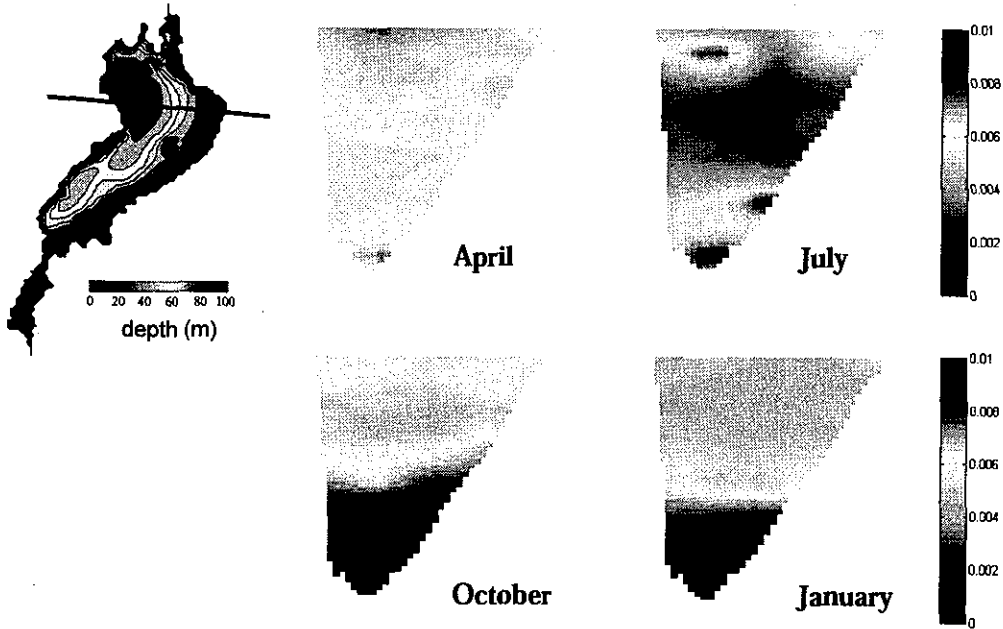


図2 琵琶湖の溶存態窒素濃度分布 (季節平均)

### 3. 琵琶湖内物質収支の評価

湖沼の水質問題を考える際、対象湖沼に関する物質収支を評価することで湖沼水質形成過程に関し多くの知見を得ることができる。そこで、我々は物質収支の観点から琵琶湖の水質形成過程を把握することを目的に、先の水質調査の結果をもとに琵琶湖水中内の物質存在量推定を試みた。

湖水中の物質存在量は濃度と水量の積として計算される。しかし、特に琵琶湖のように規模の大きな湖沼においては物質が三次元的に不均一に分布する一方、湖内水質分布を高い空間分解能で観測することが事実上不可能であるため、何らかの方法により、少数の観測データから水質濃度の分布状況を推定することが存在量計算の精度向上に不可欠である。

筆者らは次のような方法により詳細な湖内水質分布を推定した：1) 琵琶湖を500m×500m×1mのメッシュに分割する、2) 調査で得られた75地点の濃度測定値をもとに各メッシュの濃度値をスプライン法により補

間推定する。

このようにして得られた湖内水質分布から湖内存在量を計算すると、調査期間の平均では窒素は約  $11 \times 10^4$  tonN、リンは約 230 tonP 存在していたことが分かった。この量は、文献より推定した1年間の流入負荷量 ( $7.9 \times 10^3$  tonN/yr, 830 tonP/yr) に比較し、1.4倍(窒素)、0.3倍(リン)の大きさである(図3を参照)。琵琶湖においてはリンの回転が速いことが分かる。また、各調査時のリン存在量も大きく変動していた。

### 4. 水質の短期変動成分にと降水との関係

琵琶湖では窒素/リン比が40(gN/gP)程度と高く、リンが一次生産を制限していると考えられる。なおかつ、先に示したように湖内のリン量は時間的に大きく変動していた。では、なぜリン量が増えるのだろうか？ また、リン量の短期的な変化は一次生産に影響を及ぼすのだろうか？

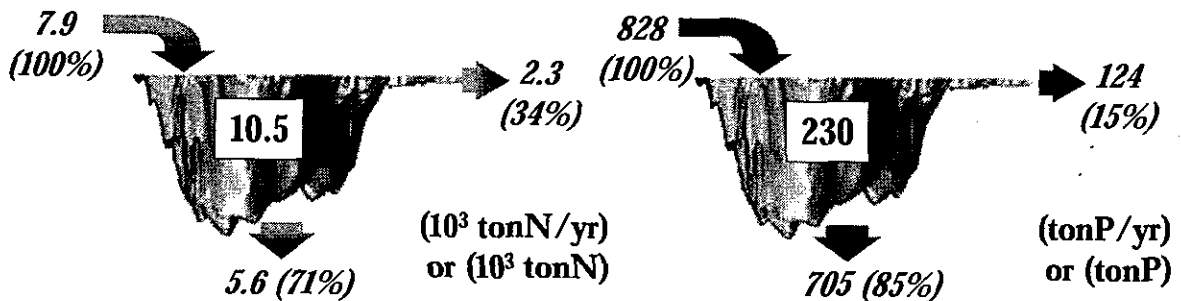


図3 琵琶湖における窒素(左)、リン(右)の収支

先に示した筆者らの水質調査は3ヶ月に1度の頻度で実施していた。全域を対象としており空間的には密な調査であるが、時間的にはそうとも言えない。特に、一次生産のように日～週という時間オーダーで変化が起こる現象を考える上では時間密度が不十分である。

そこで、滋賀県が実施している水深別水質調査の結果をもとに、先の疑問について考察を行った。この調査は月に2回、北湖の最深部付近(今津沖中央)にて実施されているもので、他のものに比べ測定間隔が短いという特長がある。

筆者はまず、この調査で得られた全リン、クロロフィルa、SSの時系列データをフーリエ変換により3つの変動成分に分解した。3つの成分とは、1) 長期成分、2) 周期成分、そして3) 短期成分である。全リンの結果を図4に示す。周期成分とは毎年同じ変化を繰り返す変化を意味している。琵琶湖の場合、表層では1月から6月の間、濃度は徐々に上昇し、その後低下していく。この変化が基本パターンであり、これに長期成分、短期成分が加わったものが実際に観測される変化となる。長期成分とは1年以上の周期を持つ、ゆったりとした変化であり、短期成分はそれ以外のもの、すなわち、1年未満の変動成分である。

次に、ここで得られた短期成分と彦根気象台で観測された降水量との相互相関係数を評価した。湖へ流入するリン負荷の多くは降雨時に流入することが分かっており、筆者はリンの湖内存在量の変動が降雨時の流入によるものではないかと考えたからである。

結果を図5に示す。全体的に相関係数は低い。これは今回用いた水深別水質調査の頻度が月に2回と他の調査に比べればよいものの、今回のような解析においてはまだ時間密度が大きすぎることで、集水域から北湖中央部への到達経路は複数存在し、その各々が異なる

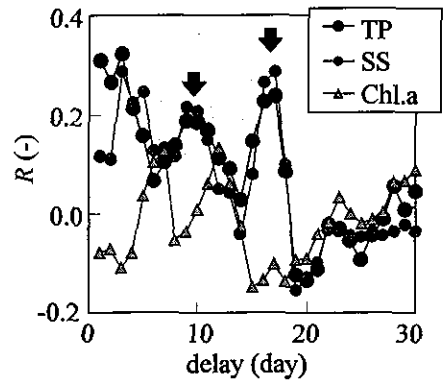


図5 水質の短期変動成分と降水量との相互相関係数

時間遅れを有すること、負荷の流出・輸送が非線形な現象であることによる。

相関係数が小さいながらも、いくつか興味深い結果が得られている。まず、全リン(TP)の結果で10日目および17日目付近においてピークが現れていることである。次に、全リンとSSで傾向がほぼ同じであること。この2点から、集水域に降った雨により、懸濁物質に付着したリンが10～20日程度の後、北湖の中央まで到達していると推定される。

ところが、同図中に示したクロロフィルa(Chl.a)の結果は他の2つとは変化が異なる。リンが到達して数日の後に一次生産が活発化する場合には、全リンの変化に遅れ、同じような傾向でクロロフィルaの変化が現れるはずである。しかし、今回の結果でははっきりとそのような傾向を読み取ることは出来ない。

以上の結果より、湖内リン存在量の変動は降雨にともなう集水域からの懸濁態リンの流入の寄与が大きいこと、その一方で、北湖中央部では懸濁態リン流入に伴う一次生産の明らかな増加は認められないことが分かった。

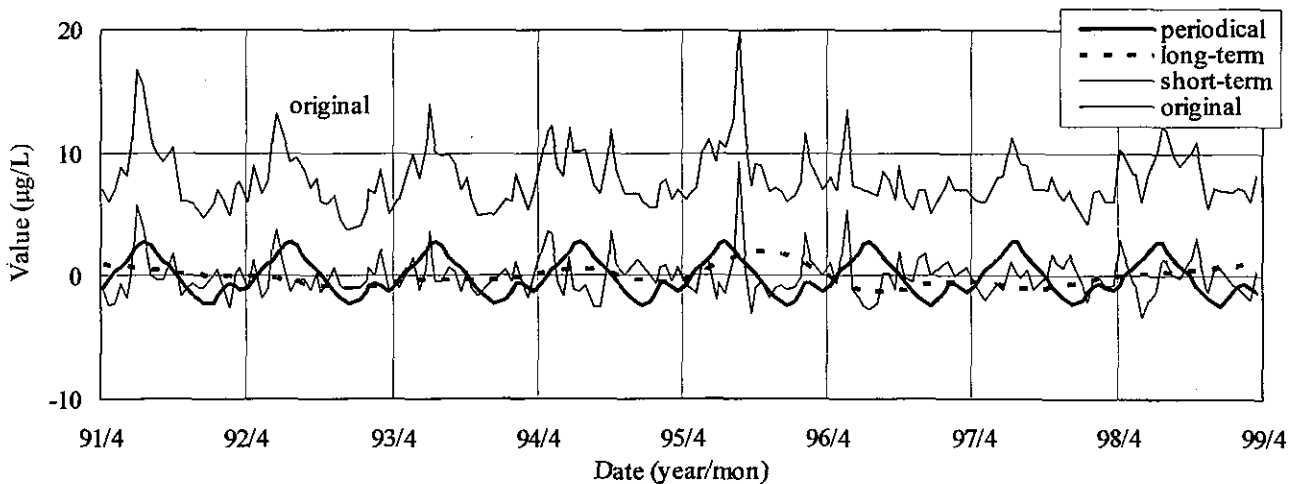


図4 フーリエ変換による水質成分の分解結果(水深10m)

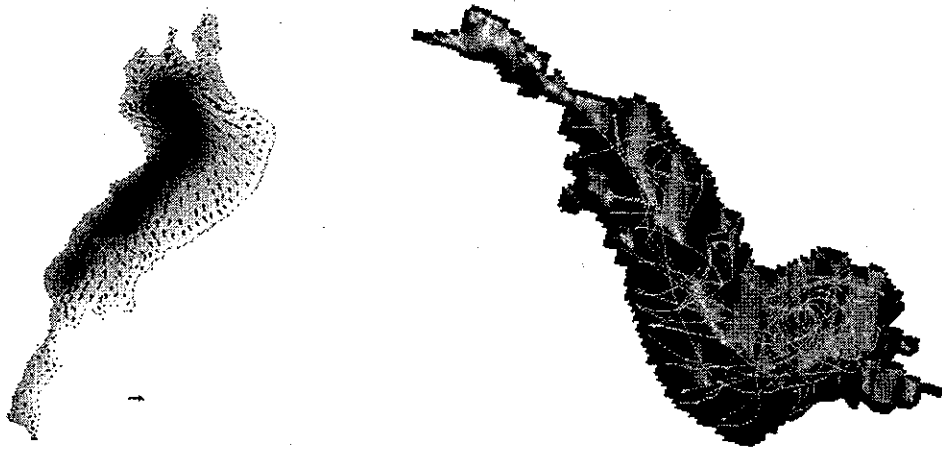


図5 流動モデルの計算結果(左:水面での温度分布と流動状況、右:琵琶湖の北東方向上空から眺めた三次元での流動状況)

## 5. 今後の展開

4. に示した解析では、湖へ入ってから北湖中央部に至る経路については全く無視し、その上で10～20日の遅れがあるなどの議論を行っていた。しかし、現実には起きている現象は非常に複雑であり、その過程を正しく評価していく必要がある。

筆者は、琵琶湖内の水の動きをコンピュータ上に再現するモデルを構築し、湖内移動過程における水質の変化過程を把握していこうと考えている。このモデルは琵琶湖を26の層、全9,805のブロックに分割し、水の流向・流速および水温の変化を計算するものである。結果の一例を図5に示す。現在までに、このモデルを用い冬期の気象が融雪期の湖内流動状況に及ぼす影響に関する評価を行った。今後はさらに計算期間を延ばし、かつ対象とする物質を増やし、詳細な水質形成の過程を把握していくつもりである。

また、微生物量の変化を計算するシミュレーションにおいても、従来のものとは異なるものを検討していきたいと考えている。

従来のモデルは微生物の個体数の変化を計算するのが一般的であった。このモデルでは構造が簡単であり、計算量が少なく、コンピュータにかかる負担も小さかった。しかし、近年のコンピュータの能力向上により、より複雑な計算も可能となっている。

現在考えているモデルで計算された結果の一例を図6に示す。このモデルは、ある空間における植物プランクトン・動物プランクトンの各固体の位置と増殖・死滅を計算するものである。計算結果では時間とともにプランクトンの位置が変化しながら、量が増減している様子が見て取れる。このようなシミュレーションにより従来とは異なる知見を得られるのではないかと期待している。

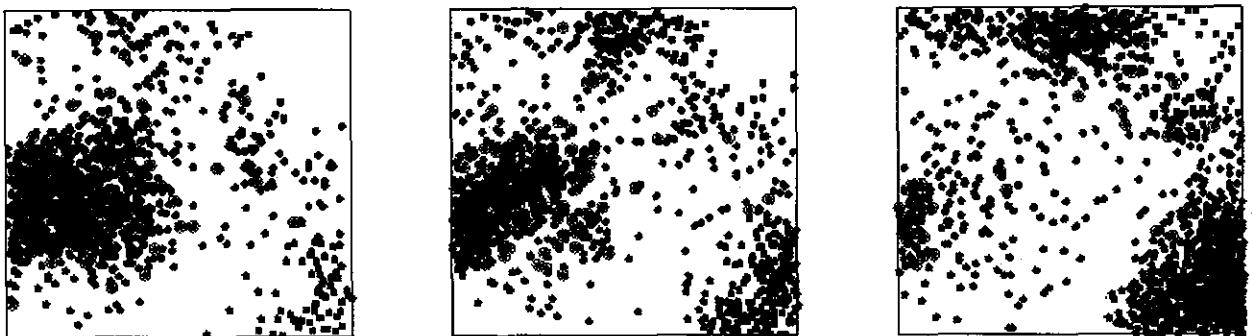


図6 微生物のマルチ・エージェントシミュレーション

四角の枠が計算領域、各点がプランクトン1個体を表す。3つの図は異なる時間におけるプランクトンの分布を表しており、左から右の方向へ時間が進行している。



琵琶湖水質データベースの構築とその活用システムの開発

京都大学環境質制御研究センター ○藤井滋穂, 永禮英明  
 龍谷大学理工学部 宗宮 功

Construction of Lake Biwa water quality database and development of its application system,  
 by Shigeo FUJII, Hideaki NAGARE (Kyoto Univ.) and Isao SOMIYA (Ryukoku Univ.)

1. はじめに 重要な水源である琵琶湖では、各種調査機関が多様な調査を実施しているが、方法が異なり相互比較や総合化した解析が困難である。筆者らは方法の異なる多数の調査結果を、一つのデータベースとして活用するシステムの開発を試みており、今回その成果を報告する。

2. 琵琶湖調査情報の収集とその特徴 表1は、筆者らが現時点でデータ収集した琵琶湖水質調査一覧である。これらは、地点数1~50、調査水深数1~12、頻度年1~57回と多様なパターンとなっている。地点・水深とも共通するものを整理することにより、現時点で異なる採水箇所として86地点、44水深が認められた。一方、水質指標は267種(含むプランクトン種)であった。

3. データベース構築 各調査でパターンが異なり単純な表形式では全データを集計できない。そこで図1に示すTable群を組み合わせたリレーショナルデータベース(Acess2000)でシステムを構築した。TbDataは試料コード、水質指標コード、数値(濃度)をレコードとして保持する本システムの核部分で、現時点で約60万件のレコードを取り込んだ。TbSample、TbWQIndexは、両コードの内容を説明する表で、これらも図に示すように他のTableと関連付けられている。

4. データベースの活用例 データベース保存のデータは、Acess2000のクエリー機能で抽出・加工できる。図2はその例としてCOD<sub>Mn</sub>(JIS酸性法)の南湖表層水経年変化を各調査で比較した結果である。各調査とも類似の傾向は示すが、平均値で0.5mg/L程度の差が調査間で生じている。

5. 終わりに 本研究では、多種類の調査結果を結合して解析するシステムを琵琶湖水質で開発した。

今後は、そのデータ解析部分を拡充すると共に、さらに多数のデータを取り込む予定である。

表1 琵琶湖定期水質調査の要約

No	調査機関	開始	終了	頻度	地点	水深	試料	項目	備考
1	建設省・滋賀県	1966	—	12	50	1	50	55	表層水平
2	滋賀県衛生研究所	1975	—	24	4	12	24	31	鉛直変化
3	建設省	1973	—	12	2	12	16	33	鉛直変化
4	琵琶湖工事事務所	1976	—	57	2	1	2	29	高頻度
5	京都市水道局	1974	—	12	10	1	10	28	
6		1961	—	12	1	1	1	80	詳細水質
7		1974	—	24	1	1	1	12	
8		1963	1998	12	1	1	1	25	
9	淀川水質汚濁防止連絡評議会	1973	—	2-6	16	2	32	36	表/底層
10		1987	—	1	12	4	27	22	多点鉛直
11		1990	—	12	6	1	6	80	詳細水質
12	京都市公害対策会議	1974	1992	12	5	1	5	10	
13	守山市水道局	1989	—	4-10	1	1	1	30	
14	守山市環境課	1974	1994	2	8	1	8	20	
15	草津市水道局	1989	—	12	2	1	2	22	
16	大阪市水道局	1916	1992	12	1	1	1	46	最古COD
17	滋賀県水産試験場	1915	—	12	6	5	17	26	最古定期
18	淀川水質評議会	1982	—	12	3	6	9	38	
19	共同調査	1966	—	6-10	9	2	10	40	
20	筆者ら	1976	1981	12-24	22	1	22	12	南湖調査
21		1985	1986	12	12	1	12	23	
22		1995	2000	4	19	6	75	42	3次元

N 太字番号はデータベース取込済資料 \*最新調査での数

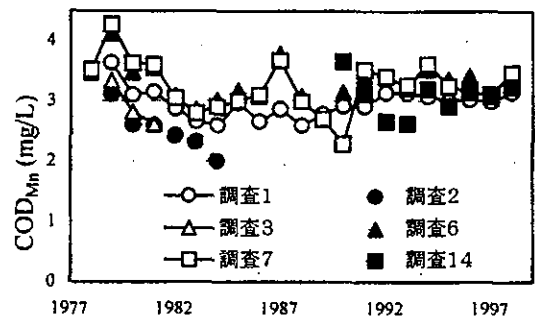


図2 調査によるCOD<sub>Mn</sub>濃度の差(南湖表層)

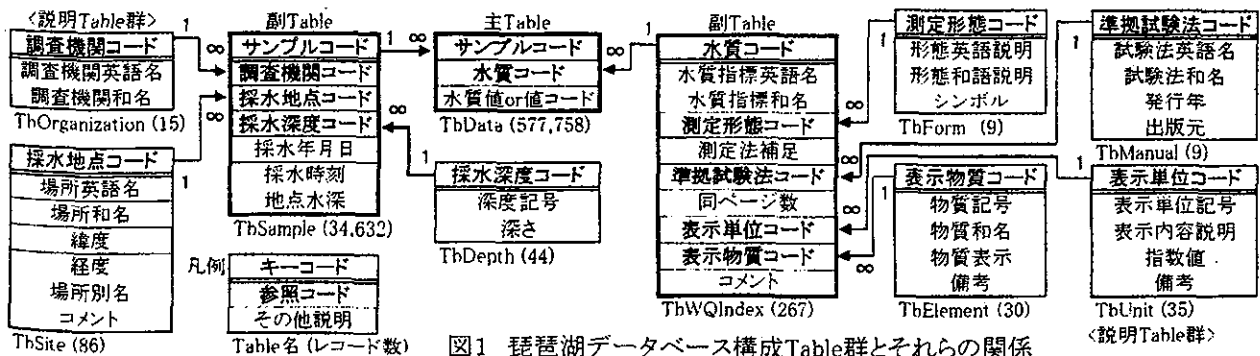


図1 琵琶湖データベース構成Table群とそれらの関係

晴天時河川流出負荷量に及ぼす土地利用・下水道処理方式の影響

京都大学大学院 ○守谷将史, 藤井滋穂, 永礼英明, 井原啓貴, 清水芳久

Influence of basin properties on river pollutant loading in fine weather

by Masashi MORIYA, Shigeo FUJII, Hideaki NAGARE, Hiroataka IHARA, Yoshihisa SHIMIZU (Kyoto University)

1. はじめに

公共用水域の水質や水量、負荷量の影響因子の把握を目的として、京都市北部の鴨川流域において流域情報のデータベース化と水質・水量の現地調査を行い、両者の関係を考察した。

2. 鴨川流域情報の整備

図1に示す土地利用などの水質・水量に影響を与える因子について、まず河川位置などの基礎情報データベースを作成し、それを元に水の流下方向や人口分布などのデータベースを作成した。各種データを位置情報と結びつけるために、統一した形式として約100m×約100mの区画ごとに、情報コードを示す数値の行列、ラスターデータとして整備した。例として下水道の整備状況を図2に示す。

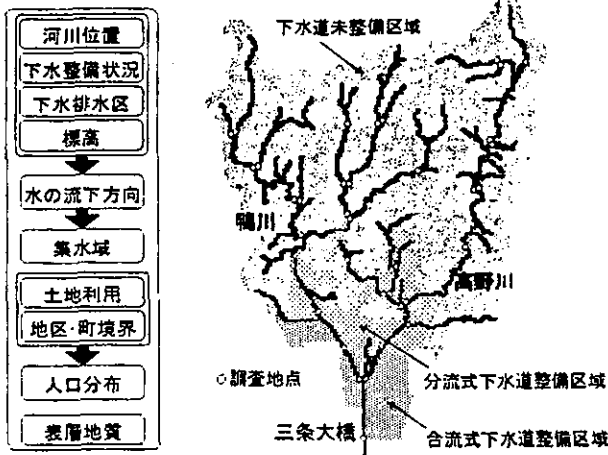


図1 整備データベース 図2 下水道の整備状況

3. 鴨川水質・水量調査

流域の負荷量の実測を目的として図3に示す対象流域内の全39地点において現地調査を晴天時に行った。調査は2000年~2002年の毎年各1回、計3回実施した。調査日程を表1に示す。6時頃から13時頃までの短時間に全地点での調査を終えた。

表1 調査日程

調査日程	第1回	第2回	第3回
	2000/11/24	2001/10/24	2002/12/4

4. 流域の水質・水量解析

各地点の流下負荷量を濃度と流量の積として算出し、第1~3回調査の結果の平均を用いた。上流端の定住人口が0人である9つの集水域について、集水域面積と流量、負荷量の関係をTNを例に図3に示す。流量では相関係数が0.96、TNでは0.86と大きく、人為影響のない流域では集水域面積に比例することが読み取れる。流量について傾きを年間値に換算すると860mm/yと、平均年降水量1550mm/yの半分の値となり、晴天時でもかなりの量が流出していることがわかる。また傾きからTNの負荷発生原単位0.78kg/day/km<sup>2</sup>が得られた。なおTPでは0.040kg/day/km<sup>2</sup>という値が得られている。

次にこの原単位と集水域面積の積から面源による負荷量を算

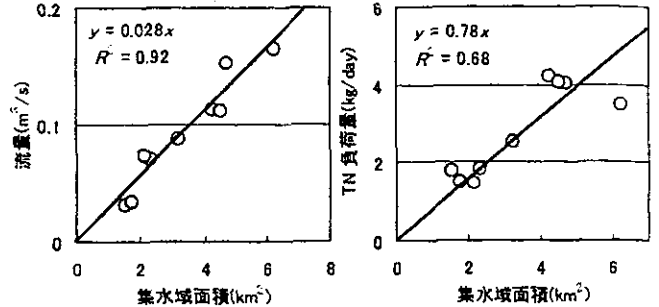


図3 集水域面積と流量・負荷量の関係

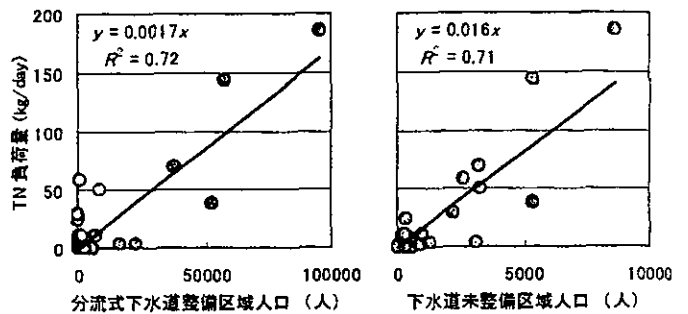


図4 負荷量と人口の関係

出した。面源の影響を差し引いた負荷量と下水道未整備区域人口、分流式下水道整備区域人口の関係を図4に示す。双方とも相関係数が0.85と負荷量に大きく影響していることを読み取ることができる。

そこで面源の影響を差し引いた負荷量Lと下水道未整備区域人口p<sub>1</sub>、分流式下水道整備区域人口p<sub>2</sub>で切片を持たない式形で重回帰分析を行い回帰式L=a<sub>1</sub>p<sub>1</sub>+a<sub>2</sub>p<sub>2</sub>を得た。得られた係数値を表2に示す。TNでは係数値から未整備区域における原単位が7.7g/day/人と、分流式下水道整備区域における原単位0.97g/day/人の約8倍という結果が得られた。この値は他の文献値(1日1人当り汚濁負荷量; 7.0~16.8g/day/人)<sup>1)</sup>と比べると小さいが未整備区域の負荷の大きさが読み取れる。なお切片を持つ形式で重回帰分析しても切片はほぼ0となった。

表2 回帰式の係数値

	人口	係数	原単位(g/day/人)	
			TN	TP
下水道未整備区域	p <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	7.7	0.21
分流式下水道整備区域	p <sub>2</sub>	a <sub>2</sub>	0.97	0.0095
重相関係数R			0.87	0.78

5. まとめ

本研究では都市内の中小河川において、流出負荷に対する土地利用、処理別人口による影響の定量的な評価を試みた。今回は負荷量と下水道未整備区域人口、分流式下水道整備区域人口の関係を表すことができた。今後は土地利用との関係について考察する予定である。

参考文献

1) 日本下水道協会、流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説、1999

## **INFLUENCE OF BASIN PROPERTIES ON RIVER POLLUTANT LOADING IN FINE WEATHER**

Piyaporn SONGPRASERT\*, Masashi MORIYA\*, Shigeo FUJII\*,  
Hideaki NAGARE\*, Hirotaka IHARA\*\*, Yoshihisa SHIMIZU\*

*\* Research Center for Environmental Quality Control,  
Graduate School of Engineering, Kyoto University,  
Yumihama 1-2 Otsu, 520-0811, Japan*

*\*\*Department of Soil and Fertilizers, National Agricultural Research  
Center, Kannondai 3-1-1 Tsukuba, 305-8666, Japan*

### **ABSTRACT**

Factors influencing to pollutant loading in fine weather days were investigated at the Kamo Basin with an area of 155km<sup>2</sup>. Simultaneous surveys of 39 sites were conducted three times during the year of 2000-2002 to evaluate horizontal distribution of water quality in the basin. Two-way ANOVA (dates and sites) was introduced to quantitatively explain the effects of sites on the variation of each water quality. Forest area was first investigated as the factor meditated with water pollutant loading due to its largest area coverage (>80%) and positive linear relationship between loading and its area was obtained in the indices such as DOC, DN and Mg ( $R^2>0.7$ ). The effects of paddy field and residential areas were analyzed with a multiple linear regression method, and were quantitatively evaluated in DOC and DN. Population density was also important effect to DN loading also. Successfully, 0.76 and 3.21 kg/d/km<sup>2</sup> of DOC and 0.65, 10.51 kg/d/km<sup>2</sup> of DN were obtained as pollutant discharge rate from forest area and residential area, respectively, while 2.53 kg/d/km<sup>2</sup> of DN was availed for paddy field. These values could be applicable for evaluation non-point source loading pollution from land utilization in the basin.

### **KEYWORDS**

Pollutant loading, river basin, fine weather, two-way ANOVA, a multiple linear regression

### **INTRODUCTION**

Pollutant loading is used as a technical term to describe the amounts of pollutants entering water resources from various point sources and non-point sources (NPSs), and it is important to evaluate water quality contamination quantitatively in receiving waters. To preserve the river water quality, the source control of pollutant loading must be the effective and fundamental measure. However, the control is not easy for NPSs, because it is difficult to identify sources and to quantify the loading, comparing with point sources. Therefore quantitative identification of pollutant sources is required by doing a comprehensive survey and analysis to understand which sources are mainly affecting the pollutant loading.

Since the Kamo Basin contains areas on commercial, industrial, residential and forest area, as well as agricultural area, potential as various non point sources of pollutant to river body. Hence, the Kamo Basin with an area of approximately 155 km<sup>2</sup> was selected as the study area. The objectives of this study are to extract main influential factors to pollutant loading in fine weather days and to evaluate their effects quantitatively.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area

The Kamo Basin with an area of approximately 155 km<sup>2</sup> was selected as a study area. It is located in north part of Kyoto, Japan, having the geographical co-ordinates of latitude 35°0'-35°11' N and longitude 135°42'9"-135°51'45" E. The Kamo and Takano rivers are main streams in this basin. Thirty-nine sites are set to observe water quality distribution, and to estimate the pollutant loading from small catchments that form the Kamo Basin. These sites are distributed in the exit location of tributaries to main streams, as shown in Figure 1.

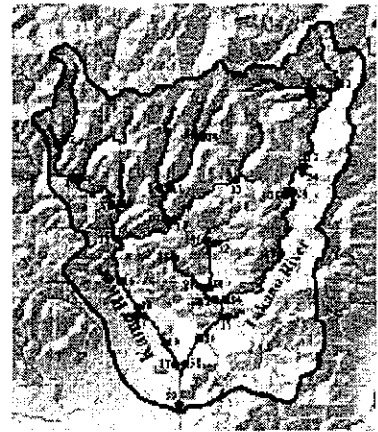


Figure 1 Kamo Basin and 39 sites

### Database construction

To understand horizontal distribution of water quality in the basin, it is necessary to collect data of regional properties as distributed information, and to manage them systematically. Then, a database was constructed in this study. The database contains information on altitude, surface geological features, land utilization, sewerage system and population density (Kyoto city, 1999 and Geographical survey institute, 1997 and 1998) in a given unit mesh which is about 100 m square area with a width of 4.5 seconds in longitude, and a height of 3 seconds in latitude, and the whole study field has 14,754 meshes. Table 1 summarizes contents of the database; parameters, data sources, and constructed data.

Table 1 Data source and constructed data

Parameters	Data source	Constructed data
Altitude	50m × 50m mesh unit of digital data, 1997	Altitude and slope
Main drainpipe	Kyoto city sewer & drainage pipe map, 1999	Flow direction, catchments
Sewerage system area	Kyoto city sewer & drainage pipe map, 1999	Types (separated, combined, without sewerage area)
Land utilization	1/25,000 topographic map, 1998	Types (forest, paddy field, and residential areas)
Population density	Population of 49 districts in 31 towns, 1999	Population density of each mesh

To determine flow direction, land slopes in 8 directions (one mesh surrounded by 8 meshes) were calculated in each mesh from ratios of altitude differences over distances between meshes. Then, the following rules are adopted:

1. In the mesh containing a river stream, the flow direction follows that of the stream.
2. In the area without sewerage system, the flow direction relies on the steepest slope.
3. In the area with separated and combined sewerage system, the flow direction follows its drainpipe direction.

Figure 2 shows the results of flow direction line estimation in this basin and these lines were used for identification of boundaries of small catchments in 39 sites. These small catchments, shown in