

# 印旛沼流域における水循環特性に関する一考察

## A STUDY ON WATER CYCLE CIRCULATION CHARACTERISTIC IN INBA POND BASIN

渡辺 眞道<sup>1</sup> 大関 祐次郎<sup>2</sup> 古川 巖水<sup>3</sup> 吉川 勝秀<sup>4</sup>

<sup>1</sup>パシフィックコンサルタンツ株式会社(〒163-0730 東京都新宿区西新宿2丁目7番1号新宿第一生命ビル)

<sup>2</sup>学生会員 日本大学理工学部 社会交通工学科(〒274-0063 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

<sup>3</sup>千葉県企業庁(〒261-8552 千葉県千葉市美浜区中瀬1-3 幕張テクノガーデンD棟)

<sup>4</sup>正会員 工博 日本大学理工学部 社会交通工学科(〒274-0063 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

These years, the water circulation system of the Inba Pond Basin in the Tone River System, has significantly changed because of the urbanization and changes in agriculture management in this area. Amount of runoff surface has increased in the system, where the infiltration was dominant prominent before. These changes cause decrease water flood security and an aggravation of the water quality in the Inba Pond.

In this paper, we analyzed changes of the water circulation system of the Inba Pond Basin and runoff characteristics based on field observations and proposed effective measures for the improvement of the water quality of the Inba Pond.

**Key Words** : Inba Pond Basin, water circulation system, Urbanization, first flush

### 1. はじめに

利根川水系の印旛沼流域は、540k m<sup>2</sup>の面積と73万人の人口を擁している流域である。近年、印旛沼流域は都市化や営農形態の変化などから、水循環機構が大きく変化した。この変化は、印旛沼の水質を悪化させた。千葉県は全国ワーストワンの水道水源から脱却すべく、「水循環健全化会議」を開催し、印旛沼の再生を施行している。

本論文では、現地観測をもとに印旛沼流域における水循環機構の変化と流出特性を分析し、印旛沼の水質改善に効果的な流域対策を提案することを目的とする。

### 2. 印旛沼流域の変遷と水収支の変化

#### (1) 印旛沼流域の変遷

印旛沼流域では高度経済成長期の昭和38年に『印旛沼総合開発計画』がスタートしたことによって、沼の形状は大きく変化するとともに、流域人口が急増し、昭和40年では人口は約300万人であった人口が、平成12年では700万人になっている。

人口増加、産業の発展に伴う都市化の進展は図-1に示すように印旛沼流域の都市計画区域は昭和53年に対し、平成13年の方が拡大している。

また、土地利用において、図-2に示すように、主に土地利用の割合は山林や田畑が減少し、その減少した地域が市街地となり、昭和40年代初期から約30年間で印旛沼流域の市街地の割合は約3倍に拡大した。これらの

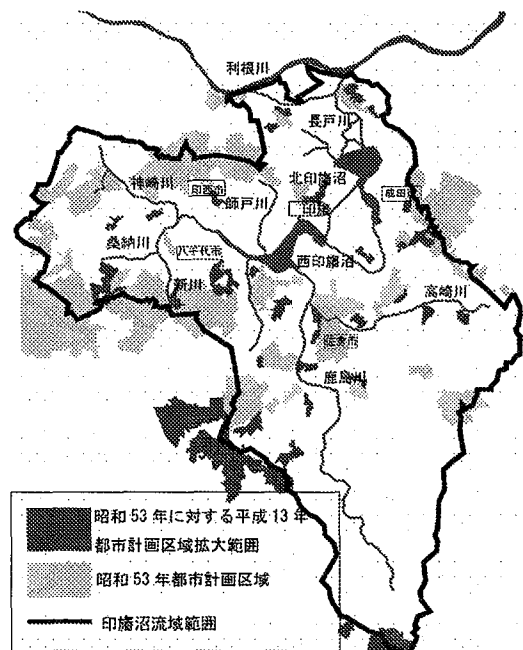


図-1 印旛沼流域とその都市計画区域の変遷

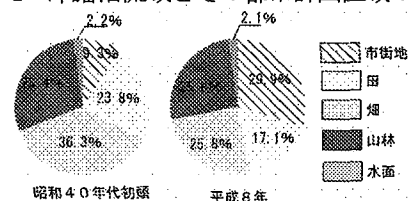


図-2 印旛沼流域の土地利用の割合

ことから印旛沼流域は約30年で都市化が著しく進展したということがわかる。

## (2) 印旛沼水循環特性の変化

各支川の観測流量及び上下水道の利用実績から印旛沼流域の年間水収支を算出した。その結果印旛沼流域における水循環特性は市街化に伴い大きく変化したといえる。(図-3, 4)

昭和40年代前半から平成11年の約30年間の水収支の変化を比較すると土壌浸透水の減少および地表流出は約3倍に増大した。それに対し印旛沼流域の土壌への地下水涵養量は減少し、湧水を比較すると4分の1が減少している。

また、昭和40年代に比べ、印旛沼の水利用の状況は、人口増加や工業用地の拡大などによって、工業用水や生活用水、生活雑排水が増加した。それに伴い、現在では沼を水位一定にするため、利根川からの導水を行い、下水の一部を東京湾に放流している。

## 3. 都市化による降雨時の水循環特性の変化

一般に、地表流出の増加は市街化率が高い流域ほど顕著であると考えられている。従って降雨時には河川の流量が増加し、治水安全度の低下が懸念される。

そこで著者らは2002年7月16日と9月30日の降雨時に印旛沼流域内の降雨と各河川の流量を観測からピーク後減衰時間を算出し市街化率と比較した。ピーク後減衰時間とは、ハイドログラフにおいて流量のピークの時間から流量が降雨前の状態に戻るまでの時間を示す。

流域の市街化率40%の桑納川流域ではピーク後減衰時間が7時間と短く、それに比べ、流域の市街化率が15%の師戸川では34時間と長いという結果であった。その他流域においてもピーク後減衰時間は市街化率に依存しており、流出到達時間と逓減時間が短縮化する傾向を現地観測によって検証した。(図-5)

## 4. 市街化率の相違による負荷量の変化

市街化が河川の水質環境に与える影響の比較を行うため、市街化率が40%と高い桑納川流域と市街化率の14%と低い高崎川流域の二つの小流域のT-P、T-Nについて現地観測及び、単位流域面積あたりの年間平均負荷量として比較を行った。

### (1) 南部川・勝田川(高崎川支川)流域

#### a) 特徴

南部川・勝田川流域は市街化率が約14%と低く、またまった市街地はある一部(佐倉・八街)である。地形は複雑に入り組んだ谷津田、その周辺の斜面林、台地上の畑の組み合わせが多い。

#### b) 流域の環境負荷の影響

図-6は勝田川におけるT-P、T-Nの観測結果である。

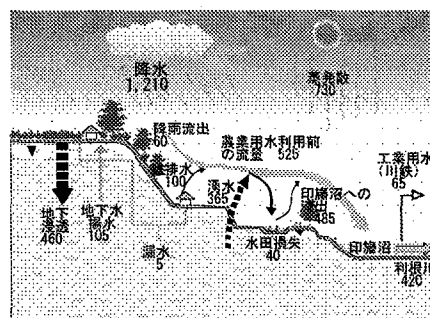


図-3 昭和40年代の年間水収支(mm)

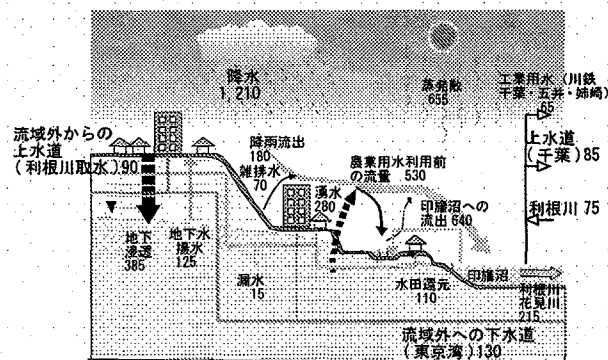


図-4 現在の年間水収支(平成11年度)(mm)

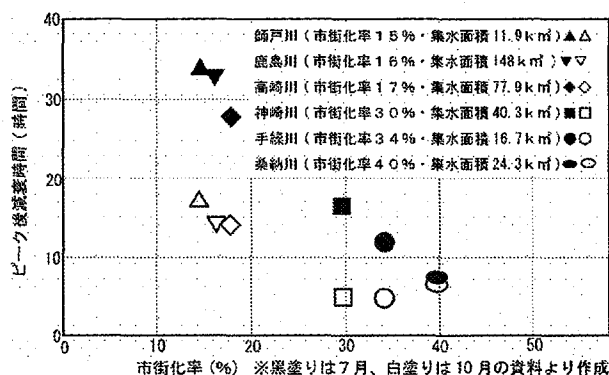


図-5 市街化率とピーク後減衰時間の関係

家庭からの生活雑排水の流入河川ではT-N、T-Pの水質項目で単独浄化槽、し尿処理などの影響が大きい。

畑地からでは窒素肥料の影響が大きくT-Nの値が大きく、湧水の水質が悪化していると考えられる。

上流の工場排水の影響により、T-P、T-Nの値が高い値になっていると推測される。

### (2) 桑納川流域

#### a) 特徴

桑納川流域の市街化率は40%と高く、流域で最も市街化の進む流域である。各支川の上流域は市街地が占有し、下水道整備が進んでいる。

中・下流域では農地が多く、住宅は散在している。

#### b) 流域の環境負荷の影響

図-7は桑納川におけるT-P、T-Nの観測結果である。

高崎川流域と同様に家庭からの生活雑排水の流入河川で

はT-N、T-Pの水質項目で単独浄化槽、し尿処理などの影響が大きい。これは土地利用の違いにより、下水道整備域において、未接続の家庭からの生活雑排水の影響が考えられる。

高崎川流域と同様に上流の工場排水の影響により、T-P、T-Nの値が高い値になっていると推測される。

流下に伴う負荷低減が小さく、河川浄化機能が損なわれている可能性がある。

### (3) 市街化率の相違による汚濁負荷流出実体の比較

図-8 は市街化率が 17%と低い高崎川と市街化率が 40%と高い桑納川の出水時の負荷量と流量の関係を示した図である。どちらの流域も市街地、事業所や畑地からの負荷があるが市街化率が高い流域ではその影響も顕著である。桑納川は常にT-N、T-P共に高い値をとっており、流下に伴う負荷低減が少ないことから自然の浄化機能が低下していると考えられる。

南部、勝田川流域の湧水の水質は畑地からの窒素肥料の影響により、全体としてリンに比べると窒素が高い値になっていることがわかる。

### (4) 市街化によるファーストフラッシュの影響

市街化が進行した流域ほど、図-8に示すファーストフラッシュ型の鋭敏な図形となりピーク後減衰時間が短いほどファーストフラッシュの影響が大きくこのことは、市街化を進めた流域ほど降雨時の河川流量のファーストフラッシュによる汚濁負荷が一度に流出し環境への影響を与えることが明らかになった。

市街化による表面流出の影響とファーストフラッシュの影響は市街化が進むにつれて顕著になった結果が得られた。

## 5. 自然地における水収支の検証

図-9に示すように昭和40年代には印旛沼流域では表面流出がほとんど生じていなかった。そこで印旛沼流域がかつて有していた水循環機構特性を実証するために、現在も表面流出がほとんど生じていない谷津地形である太田谷津においてに水物質循環の収支を2002年9月から2年間にわたり実測した。

### (1) 太田谷津における水収支の検証

図-10は太田谷津の水収支を示した図である。太田谷津は表面流出が3%と低く、谷津の蒸発散量・地下浸透量は、降水量に対してそれぞれ65%・32%であった。また、太田谷津流域の自然地の割合は、昭和40年代の自然地の割合に近似していることから谷津の水収支は、印旛沼流域の昭和40年代初頭の年間水収支と概ね同程度の結果であった。

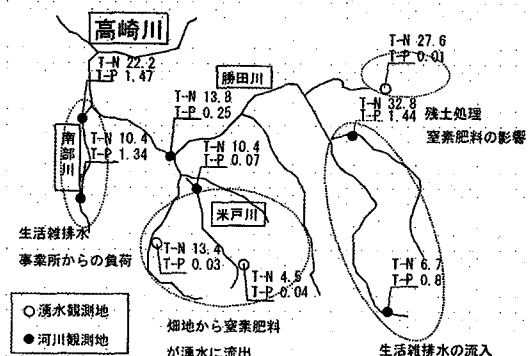


図-6 南部川・勝田川的环境負荷(mg/m³)

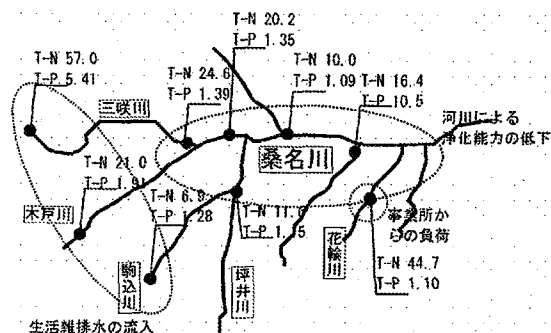


図-7 桑納川的环境負荷(mg/m³)

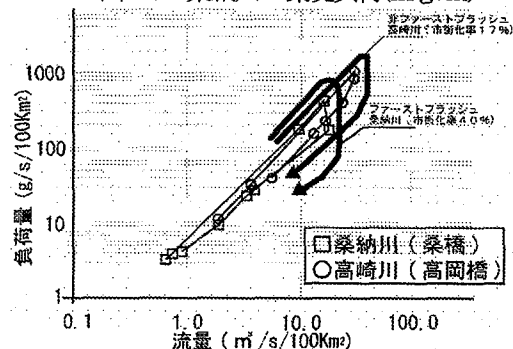


図-8 ファーストフラッシュの影響

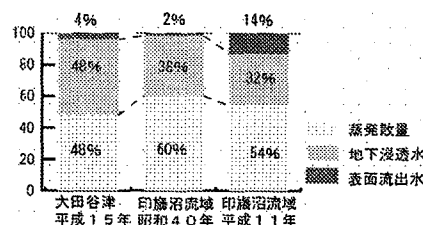


図-9 印旛沼流域と太田谷津の水収支比較

谷津などの自然地は、降雨の表面流出を低減させる機能を有していることがわかり、市街化による自然地の減少は表面流出量の増加につながっていることが水収支から明らかとなった。

### (2) 太田谷津の降雨時と湧水の変動

図-11は降雨と湧水量の変化を示した図である。谷津における流出流量とこれらを収束する地点である米戸沢水位は、降雨に対して敏感に反応し、降雨の影響は降雨終了後2日程度であり、平常時の状態に戻る。また、9

月以降、断続的な降雨により台地に雨水が涵養されたことにより、地下水位（上手側）が徐々に上昇した。

地下水位の上昇に合わせて、谷津流出流量も徐々に増加する、無降雨（11/6～11/26の約3週間）が続くと、地下水位（上手側）は徐々に低下し、併せて谷津流出流量も緩やかに減少が見られる。

地下に水が浸透することによってピーク後減衰時間を長期化し、ピーク流量が抑制されることが実証された。

### (3) 太田谷津の物質収支について

湧水の水質調査や農家等からのヒアリングによる施肥量の調査を行い、それらに基づき太田谷津の窒素の収支を算出した。この結果、肥料として投入される窒素量2,005kgのうち約5割にあたる1,089kgが土壌中に残存し土壌汚染につながるが、また、このうち約25%にあたる292kgが湧水として湧出する。これは土壌中の吸着・分解になどの作用によるものであると推測される。

## 6. 考察

印旛沼流域の高度経済成長期に市街化は著しく進展してきた。市街化に伴い周辺の水循環特性に与える影響は以下に示す通りである。

市街化により地下涵養量は減少し、表面流出量は増加する。また、市街化率が高い流域は、非常にピーク後減衰時間が短いことから河川流量は先鋭化といえる。これらの問題点が印旛沼流域の治水対策において新たな問題になる可能性がある。

印旛沼流域の小流域である太田谷津は非常に自然が多い。そのため表面流出水はほとんどなく、地下水涵養量が非常に多いので流域における、湧出量も多い。また、降雨時のピーク流出緩和効果から治水の面における影響は大きい。そこで本来、流域が持っていた能力を再生するため、地下水涵養量の増加が必要であると考えられ、一例として浸透マスの設置等が挙げられる。

市街化や農業形態の変化が環境に与える影響として主なものに家庭や工場からの生活雑排水の流出、田畑への過度な肥料散布によって湧水の汚濁などがある。また、河川の自然浄化能力の低下などが挙げられており、これらの対策の実施が流域水循環改善のために必要であると考えられる。

謝辞：本報告を取りまとめるにあたっては千葉県県土整備部河川環境課からのデータ提供をいただき、千葉県が設置している「印旛沼流域水循環健全化会議」の委員長である 虫明功臣 福島大学教授から終始ご指導をいただいた。また、データに関しては 千葉県葛南地域整備センター 吉田正彦氏に助言をいただいた。各位に謝意を表します。

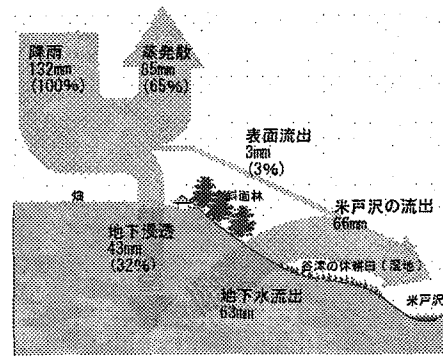


図-10 谷津の水収支

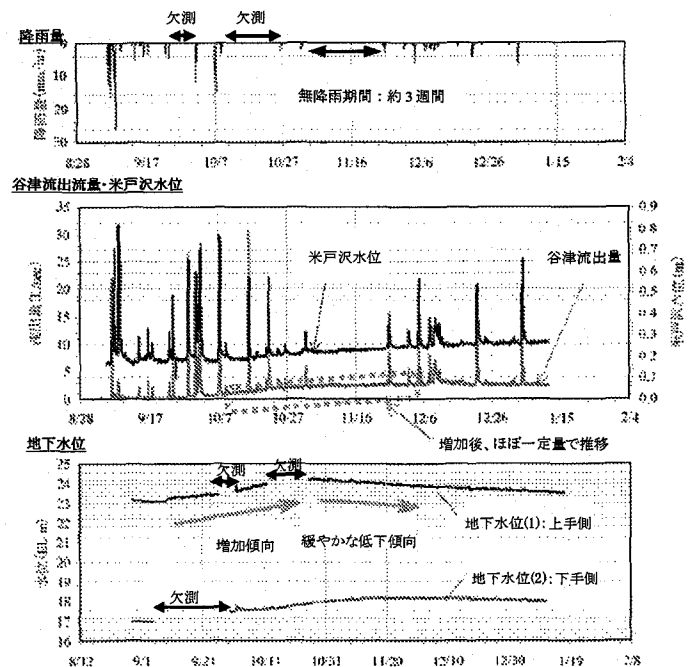


図-11 降雨時の地下水位・湧水量の変化

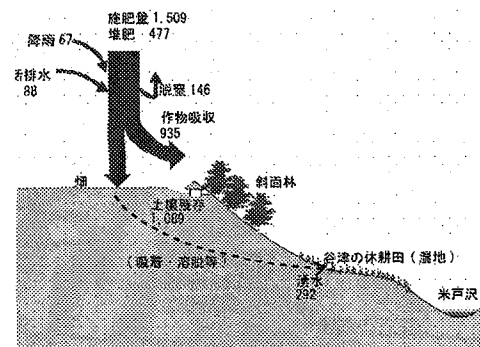


図-12 太田谷津における窒素の収支

### 参考文献

- 1) 千葉県：水循環健全化会議 資料
- 2) 印旛沼環境基金：平成15、16年度版印旛沼白書 2004
- 3) 八植ら：千葉県における農地に関する窒素収支、千葉農総研報、2、pp69-77,2003
- 4) 吉川勝秀：人・川・大地と環境 2004

(2007.4.5 受付)