

流域管理のための環境負荷排出インベントリー システムに関する研究 —東京湾流域の水需要のケーススタディー—

岡寺 智大¹・藤田 壮²・渡辺 正孝³・鈴木 陽太⁴

¹正会員 (独)国立環境研究所 流域圏環境管理研究プロジェクト (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)
E-mail:okadera@nies.go.jp

²正会員 東洋大学教授 工学部環境建設学科 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)
E-mail:fujita@eng.toyo.ac.jp

³非会員 慶應義塾大学教授 政策・メディア研究科 (〒252-8520 神奈川県藤沢市遠藤5322)
E-mail:masawata@nies.go.jp

⁴学生会員 東洋大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)
E-mail: gd040007@cc.eng.toyo.ac.jp

本研究は流域管理への適用可能な環境負荷排出インベントリーシステムの開発を目的に、流域内外での流通活動の影響が評価可能なマクロインベントリーシステムと、環境負荷の分布特性が把握可能な分布型インベントリーシステムを構築し、東京湾流域の水需要に対して適用した。その結果、東京湾流域では、鉄鋼業、化学工業などが多い沿岸地域での水需要量が多く、6～7割は流域外での消費活動に誘発される構造にあることが明らかとなった。一方、東京都の水需要量は少ないが、東京都での消費活動により東京湾流域で約35億m³の水需要が東京都以外の地域で誘発されるという結論が得られた。また水需要分布は、部門ごとに分布の形態や強度が異なることが示された。

Key Words : basin and watershed management, interindustry analysis, water demand, emission inventory, Tokyo Bay Area

1. はじめに

持続可能な発展を模索するアプローチの一つとして流域を単位とする研究が、国内および国際的に注目を浴びている。中でも、国際連合環境計画(UNEP)のプロジェクトとして、2001年よりスタートした「ミレニアムエコシステムアセスメント(MA)¹⁾」は、世界の生態系の変化がもたらす人間活動や環境に関わる影響について、政策決定者に対して総合的な科学的知見を提供することで、持続可能な社会を実現することを目的に、CO₂を中心とするグローバルな研究と共に、流域圏を対象とするサブグローバルな研究が平行して進められている。

また日本では、総合科学技術会議²⁾で「自然共生型流域圏・都市再生技術研究イニシアティブ」として、環境省、国土交通省、農林水産省、経済産業省が協同し、東京湾流域を対象に研究が実施されている。

こうした世界的な動きに呼応して、われわれのグループでは、東京湾流域を対象として、流域統合管理モデルの開発を進めている。その一環としてこれまで進めてき

た地下水モデル^{3), 4)}や河川流達モデル⁵⁾といった自然現象(State)の再現モデルの東京湾流域への適応を進めると共に、人間活動(Driving Force)に伴い発生する環境負荷(Pressure)の排出インベントリーの作成を行い、それらを統合した流域管理モデルの開発・検討を行っている。

以上のことを背景として、本研究では流域単位の環境負荷排出インベントリーシステムを構築することを目的として、東京湾流域を対象に生産消費活動に伴う環境負荷排出インベントリーのモデル開発を進めている。特に流域とのかかわりの深い水資源に関連する環境負荷指標として、水需要、排水量、汚濁負荷物質(炭素、窒素、りん)についてのモデルを作成している。しかしながら、日本の水資源管理は、国交省、農水省、厚生省、環境省と複数の省庁でなされており、全ての環境負荷データの収集には時間を要するという事情もあり、第一段階として、環境負荷指標を1つに絞り研究を進める方針を採った。そこで、本稿では水需要を対象を絞りモデルを構築し、モデルの特性を把握した上で、東京湾流域での水需要構造を評価する。

2. 流域管理のための環境負荷排出インベントリーシステムについて

(1) 環境負荷排出インベントリーの系譜

人間活動に伴う「環境負荷排出インベントリー」の概念は、主に地球温暖化に関連して開発が進められてきた。IPCC(1996)で温室効果ガス(GHG)の算定方法のガイドラインが策定され、アメリカ(EPA)などいくつかの国々ではその手法を用いて GHGs の年報を発行している。今日に至るまで、「環境負荷排出インベントリー」の作成について様々な手法が開発されているが、そのアプローチは大きく3つに分類できる。

a) 積み上げ型アプローチ

1 つ目は、統計データを基に環境負荷を算定するアプローチで、IPCC で提唱された手法である。このアプローチは 90 年代に世界的に研究 (Kato et al.⁶⁾, Klimont et al.⁷⁾, Sokona⁸⁾, Kato⁹⁾, Gielen¹⁰⁾, Baldasano et al.¹¹⁾) が進められ、近年では衛星データを用いた新しい手法¹²⁾ も開発されている。

b) CGE モデル型アプローチ

2 つ目は応用一般均衡モデル(CGE)を用いたアプローチで、主にエネルギー消費や CO₂ の排出についての政策シミュレーションへと利用されている¹³⁾

c) 産業連関分析モデル型アプローチ

3 つ目は、産業連関表を用いたアプローチである。産業連関分析モデルは W.Lenotief により論理が確立され¹⁴⁾、70 年にその枠組みは環境問題へと拡張された¹⁵⁾。その後、Duchin ら¹⁶⁾ によりアメリカ経済への適用され、それ以降、主にエネルギー政策分野で開発が進み、GHGs や大気汚染物質の LCA のツールとして活用されてきた (Gay et al.¹⁷⁾, Lave et al.¹⁸⁾, Lenzen¹⁹⁾, Nansai et al.²⁰⁾, Suh et al.²¹⁾, Ferng²²⁾)。

それ以外にも様々な分野での研究が進められ、廃棄物マネジメント (Huang et al.²³⁾, Nakamura²⁴⁾) やエコロジカルフットプリント (Lenzen et al.²⁵⁾, Ferng²⁶⁾) の算定にも用いられてきている。

また流域管理とかかわりの深い水環境の分野でも、近年研究が進んでおり、水不足と社会経済構造変化を背景に水消費の誘発効果を評価する研究²⁷⁾ や COD の排出インベントリーの構築²⁸⁾ に利用されており、筆者自身も三峡ダム上流の主要都市である重慶市を対象とした水需要と汚濁負荷排出インベントリーについて研究成果を印刷中である²⁹⁾。

(2) 流域単位の環境負荷排出インベントリーの枠組み

これまでの排出インベントリーは Global もしくは

National スケールのインベントリーであり、流域管理に適用するには、空間的バウンダリーが一致しないという問題があった。流域という Sub-Global なスケールでの排出インベントリーを作成することで流域管理へ資するシステムの開発を行うことが可能となる。ここで本研究における環境負荷排出インベントリーの概要を説明する。

a) 取り扱う環境負荷指標

本研究では「水資源」と「物質・エネルギー」の大きく2つの分野に関連する環境負荷を対象とする。1 つ目の「水資源」に関わる指標としては、①水需要、②排水量、③排水中の汚濁負荷量があり、汚濁負荷としては炭素、窒素、りんを対象とする。一方、「物質・エネルギー」に関わる指標としては、CO₂、廃棄物、熱を想定しているが、現段階では取り扱っていない。

b) マクロインベントリーと分布型インベントリー

本システムの環境負荷の算定方法は大きく2つのアプローチがある。現在の人間活動は流域単位で営まれておらず、生産消費活動に伴い様々な財やサービスが流域という空間スケールを超えてやり取りされている。そのため、流域の外部との関係を把握する必要がある。その一方で、流域管理を具体化するためには、流域のどのエリアで水が消費され、排水されているかという物的情報を空間情報に帰属させるアプローチが有効となる。そこで、本研究では、分布型インベントリーとマクロインベントリーの二つのインベントリーの作成を行う。

マクロインベントリーとは、主に東京湾流域と流域外との財・サービスの流通が、東京湾の環境負荷の排出にどのように影響しているかを把握するためのインベントリーである。これは産業連関表を利用したマクロ計量経済モデルによって作成を行う。経済モデルをベースとすることで、経済予測モデルへのリンクも容易であり、今後東京湾の将来的な経済活動による影響評価への展開を想定している。

分布型インベントリーとは、流域内での生産消費活動分布による排出される環境負荷の潜在的な分布を把握するためのインベントリーで、河川、地下水などの水理、水文モデルなどの自然現象系モデル³⁰⁾ とのインターリンクに有効である。また具体的な技術導入エリアの選定等、政策シナリオを具体化に資するインベントリーとしての意味を持つ。

3. 方法論およびモデル

(1) 東京湾流域の定義

本研究では東京湾流域としては、利根川、荒川、多摩川、鶴見川の4流域を想定し、「関東一都六県」を設定する。

その理由は2つあり、第一に東京湾へは東京都、神奈川県、千葉県、茨城県の沿岸地域のほかに、埼玉県、群馬県、栃木県、茨城県などの上流域の活動によって、河川、地下水などの複数のチャンネルによって、東京湾へと汚濁負荷が流入すると考えられるためである。第二に、現在の日本の生産消費活動は流域という枠を超えており、またそうした活動データは行政界で整備されておるため、活動量データベースとしては自治体単位で構築する方が効率的であると判断したためである。

(2) マクロインベントリアプローチ

a) 東京湾流域地域間表の推計

茨城県³¹⁾、栃木県³²⁾、群馬県³³⁾、埼玉県³⁴⁾、千葉県³⁵⁾、東京都³⁶⁾、神奈川県³⁷⁾の関東一都六県の地域産業連関表をもとに、東京湾流域の7地域31部門の地域間表を作成した。

ここで地域Rと地域Sの地域表から地域Rと地域Sの地域間表を求める基本モデル式³⁸⁾は式(1)となる。

$$\begin{bmatrix} \hat{C}^{RR} & \hat{C}^{RS} \\ \hat{C}^{SR} & \hat{C}^{SS} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A^R & 0 \\ 0 & A^S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^R \\ X^S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{C}^{RR} & \hat{C}^{RS} \\ \hat{C}^{SR} & \hat{C}^{SS} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F^R \\ F^S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E^R \\ E^S \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} M^R \\ M^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X^R \\ X^S \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし、

$\hat{C}^{RS}$: 地域RからSへのトレード係数の対角化行列

A^R : 地域Rの産業連関表から求まる投入係数行列

X^R : 地域Rの総産出列ベクトル

F^R : 地域Rの最終需要列ベクトル

E^R : 地域Rの輸出列ベクトル

M^R : 地域Rの輸入列ベクトル

トレード係数は式(2)より求まる。

$$c_i^{RS} = \frac{t_i^{RS}}{\sum_R t_i^{RS}} \quad (2)$$

ただし、

c_i^{RS} : 財iの地域RからSへのトレード係数

t_i^{RS} : 財iの地域RからSへの移動量

地域間表の作成に当たっては、全国貨物純流動調査(物流センサス)³⁹⁾を用いて設定した。また、投入係数を安定させるために、RAS法⁴⁰⁾による収束計算は行わず、バランス項として東京湾流域以外の地域への移出項および移入項を設定することで投入産出を均衡させる方式を用いた。そのため、最終的に式(1)から求まる地域RからSに移動した財・サービスの総和が地域Rの移出額を超えないように式(3)地域間表の収支バランスを調整した。

$$\hat{C}^{RS} A^S X^S + \hat{C}^{RS} F^S \leq N^R \quad (3)$$

ただし、

N^R : 地域Rの移出列ベクトル

表1 産業部門分類

01	耕種農業
02	畜産業
03	林業
04	漁業
05	石炭・亜炭
06	原油・天然ガス
07	その他鉱業
08	飲食料品
09	飼料・有機質肥料
10	繊維工業・衣服等
11	木製品
12	パルプ・紙
13	化学肥料
14	化学工業(肥料除く)
15	石油・石炭製品等
16	窯業・土石
17	鉄鋼業
18	非鉄金属精製・金属製品
19	機械・機器・部品
20	その他製造業
21	建設
22	電力
23	ガス・熱供給
24	水道
25	廃棄物処理
26	商業
27	金融・保険・不動産
28	運輸通信
29	飲食店・宿泊業
30	その他サービス
31	分類不明

b) 産業部門の環境負荷排出モデル

産業部門の環境負荷の排出量の算定は産業連関分析モデルをベースとし、基本モデルは式(4)となる。

$$EL^{ind} = \hat{D}B\hat{F} \quad (4)$$

ただし

EL^{ind} : 環境負荷排出量ベクトル

$\hat{D}$: 環境負荷排出原単位の対角行列

B : レオンチェフの逆行列

$\hat{F}$: 最終需要(輸出、移出含む)の対角行列

尚、本研究では流域単位の地域間産業連関分析モデルを用いるため、レオンチェフの逆行列は式(5)となる

$$B = [I - A + (\hat{M} - \hat{N})A^*]^{-1} \quad (5)$$

$$\text{st. } A^* = \begin{bmatrix} A^{RR} & 0 \\ 0 & A^{SS} \end{bmatrix}$$

ただし、

A : 投入係数行列

$\hat{M}$: 輸入係数の対角行列

$\hat{N}$: 移入係数の対角行列

A^{RS} : 地域 R から地域 S への投入係数行列

さらに、最終需要は域内最終需要 $\hat{F}_d$ とその他地域に

よる最終需要(移出 $\hat{E}_s$ 、輸出 $\hat{E}_x$)に分割することができ、式(4)から式(6)に変形できる。尚、行列式の「 $\hat{}$ 」は対角行列を意味する。

$$EL^{ind} = \hat{D}B\hat{F}_d + \hat{D}B\hat{E}_s + \hat{D}B\hat{E}_x \quad (6)$$

式(6)より、域内の消費活動により誘発される環境負荷(第 1 項)とその他の地域での消費活動により誘発される環境負荷(第 2 項と第 3 項)の排出量を求めることができる。

ここで、 d_i^p を部門 i で排出される環境負荷 p の排出量、 b_{ij} をレオンチェフの逆行列の要素、 f_j を部門 j の

最終需要とすると式(7) に示すマトリックスが得られる。

$$EL^{ind} = \begin{bmatrix} d_1^p b_{11} f_1 & \cdots & d_1^p b_{1j} f_j & \cdots & d_1^p b_{1n} f_n \\ \vdots & \ddots & \bullet & \ddots & \vdots \\ d_i^p b_{i1} f_1 & \bullet & d_i^p b_{ij} f_j & \bullet & d_i^p b_{in} f_n \\ \vdots & & \bullet & \ddots & \vdots \\ d_n^p b_{n1} f_1 & \cdots & d_n^p b_{nj} f_j & \cdots & d_n^p b_{nn} f_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

式(7)より部門別の環境負荷排出量および域内外の消費活動に伴う誘発量を把握することができる。

c) 産業部門の水需要パラメータの設定

地域 R の耕種農業の水需要水需要パラメータ ω_{agr}^R は式(8)よりもとめる。

$$\omega_{agr}^R = \frac{\lambda_{agr(k)}^R AR_{agr(k)}^R + \lambda_{emp}^R EP_{agr}^R}{X_{agr}^R} \quad (8)$$

ただし

$AR_{agr(k)}^R$: 地域 R の作物 k の農地面積

$\lambda_{agr(k)}^R$: 地域 R の作物 k の農地面積あたりの水需要量

EP_{agr}^R : 地域 R の耕種農業の労働者数

λ_{emp}^R : 地域 R の従業員一人当たりの水需要量

X_{agr}^R : 地域 R の耕種農業の総産出

算定では、農業用水調査報告書⁴¹⁾を基に、県別の水田、畑の面積あたりの用水量を推計し、農地面積⁴²⁾、従業者数⁴³⁾を用いた。また従業者一人当たりの水需要量 λ_{emp}^R

は 1 日 8 時間労働という仮定の下に、人口当たりの水需要量⁴⁴⁾の 3 分の 1 とする。

地域 R の畜産部門の水需要パラメータ ω_{liv}^R は式(9)よりもとめる。

$$\omega_{liv}^R = \frac{\lambda_{liv(n)}^R LV_{(n)}^R + \lambda_{emp}^R EP_{liv}^R}{X_{liv}^R} \quad (9)$$

ただし、

$LV_{(n)}^R$: 地域 R の家畜 n の年末頭数

$\lambda_{liv(n)}^R$: 地域 R の家畜 n の 1 頭あたりの水需要量

EP_{liv}^R : 地域 R の畜産の労働者数

X_{liv}^R : 地域 R の畜産業の総産出

算定に際しては、農業用水調査報告書⁴⁶⁾および家畜あたりの水消費量⁴⁸⁾を基に、牛、豚、鶏の単位あたりの水需要量を設定し、家畜頭数⁴⁷⁾、従業者数⁴⁸⁾より求めた。

地域 R の工業部門 i の水需要パラメータ $\omega_{ind(i)}^R$ は式(10)よりもとめる。

$$\omega_{ind(i)}^R = \frac{\lambda_{ind(i)}^R N_{ind(i)}^R}{X_{ind(i)}^R} \quad (10)$$

ただし、

$N_{ind(i)}^R$: 地域 R の工業部門 i の事業所数

$\lambda_{ind(i)}^R$: 地域 R の工業部門 i の事業所あたりの水需要量

$X_{ind(i)}^R$: 地域 R の工業部門 i の総産出

算定に利用した工業用水データ⁴⁸⁾は、従業者数 30 人以上の事業所のみの調査データであるため、全事業所数⁵⁰⁾で補正して、水需要パラメータの設定を行った。また従業員の飲料水量も既にデータに含まれているため、工業部門では従業員数の水需要を加算しない。

耕種農業、畜産、工業を以外の産業 j (サービス業など) の水需要パラメータ $\omega_{oth(j)}^R$ は式(11)でもとめる。

$$\omega_{oth(j)}^R = \frac{\lambda_{emp}^R EP_{oth(j)}^R}{X_{oth(j)}^R} \quad (11)$$

ただし、

$EP_{oth(j)}^R$: 地域 R の部門 j の労働者数

$X_{oth(j)}^R$: 地域 R の部門 j の総産出

サービス業等は労働集約型産業であるため、そこで働く従業員の事業系の水需要を計算する。また部門によっては、利用客による需要も考えられるが、部門ごとの利用客数に関するデータが入手できなかったため、今回の算定では取り扱っていない。また水道部門は給水に水を必要とするが、これらは各経済主体に帰属させており、これを計上するとダブルカウントされることから、水道部門自体が必要とする水需要量は事業系の水需要のみとした。またエネルギー部門でも、冷却水として生産段階で

水の需要が見込まれるが、データのアクセスビリティの問題から、本研究においては含まれていない。

d) 家計部門の水需要量の算定

家計部門からの環境負荷 p の排出量

$GEL_{hsh(p)}^R$ は県別人口から式(12)を用いて推計する。

$$GEL_{hsh(p)}^R = \varphi_{hsh(p)}^R P^R \quad (12)$$

ただし、

$\varphi_{hsh(p)}^R$: 地域 R の一人当たりの環境負荷 p の排出量

P^R : 地域 R の人口

今回の算定では 1 人 1 日あたり生活用水使用量⁵¹⁾を用いて、家計の水需要の算定を行った。

(3) 分布型インベントリーアプローチ

a) 分布型インベントリーモデル

分布モデルは 3 次メッシュを基本とするグリッドモデルで、式(13)のモデル式を用い、メッシュ k における部門 i の環境負荷物質 m のボリューム $EL_{m(i)}^k$ を求める。

$$EL_{m(i)}^k = p_{m(i)}^k AC_{(i)}^k \quad (13)$$

ただし、

$p_{m(i)}^k$: メッシュ k の部門 i の活動量あたりの環境負荷 m の発生パラメータ

$AC_{(i)}^k$: メッシュ k での部門 i の活動量

ここでは、データ上の制約から、農業、工業 22 部門、家計の計 24 部門を対象に東京湾流域での生産消費活動に伴う水需要の分布を推計する。

b) 活動量メッシュデータベースの整備

算定データとして、地域メッシュ統計⁵²⁾、工業統計メッシュ⁵³⁾および農業集落カード⁵⁴⁾を用いた。

工業統計メッシュは 3 次メッシュ単位でデータが整備されているが、事業所数が 2 以下のメッシュ (単独秘匿) と、従業者規模別等の表章をしている場合、1 つのメッシュに関して、合計の数字から他の未秘匿の分類区分の数字を差し引くことにより、秘匿された分類区分の数字が分かる場合の秘匿メッシュ (関連秘匿) は、統計法上の問題から欠損データとされるため、市町村データ⁵⁵⁾を用いて補正した。その補正方法は、全産業の出荷額及び従業者数から秘匿産業部門以外のそれぞれの値の合計の差分に、秘匿産業部門の全事業所数で割った値を、

各市の秘匿事業所当たりの補正值として、メッシュの事業所数に乗じた。

農地面積は農村集落単位でデータが整備されているため、これを3次メッシュ単位へと変換した。その変換方法は農業集落地図ポリゴンと3次メッシュポリゴンの両方のポリゴンの境界により、分割されたポリゴンを作成して、面積案分を行った。

c) 活動量あたりの水需要パラメータの設定

農業用水⁵⁶⁾、工業用水⁵⁷⁾、生活用水⁵⁸⁾データを基に、面積あたりの農業用水量、事業所あたりの工業用水量、一人当たりの生活用水量を設定した。

(4) データについて

本稿で用いたデータは、マクロアプローチでは1995年のデータを用い、分布型アプローチでは2000年データを用いた。これはデータのアクセシビリティの問題から、関東一都六県の地域産業連関表の最新版が1995年までしかないことに起因している。

4. 結果

(1) 東京湾流域のマクロな水需要構造 東京湾流域の地域部門別水需要量(1995)は、図1になる(凡例の数字は表1参照)。一番水需要が大きいのは千葉県で、年間265億 m^3 、次いで神奈川県、茨城県となり、鉄鋼業(16)、化

学工業(14)、石油・石炭製品等(15)が多く、沿海地域でのこれらの産業の水需要が高い傾向が見て取れる。一方、東京都での水需要は少なく、これは総じて産業構造のサービス化が進んでいるためと考えられる。

また消費活動に伴う水需要の誘発に目を向けると、東京湾流域の水需要の約6割は流域外での消費活動により誘発される構造にあり、その多くが国内の他の流域での消費活動によるものであるという結果が得られた(図2)。

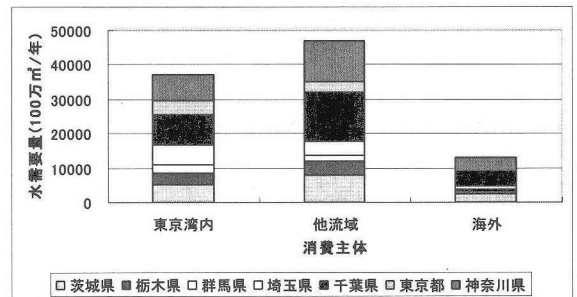


図2 消費主体別の東京湾流域の水需要誘発量

また 東京都、埼玉県では東京湾流域内での消費活動に伴う誘発割合が高いのに対し、茨城県、千葉県、神奈川県の沿岸域では流域外の消費活動による誘発割合が高くなるという地域特性が明らかとなった(図3)。

ここで東京湾流域内での水需要を介した地域間での依存構造(図4)をみると、東京都の消費活動に伴い、東京湾流域で約70億 m^3 の水需要が誘発されるという結果

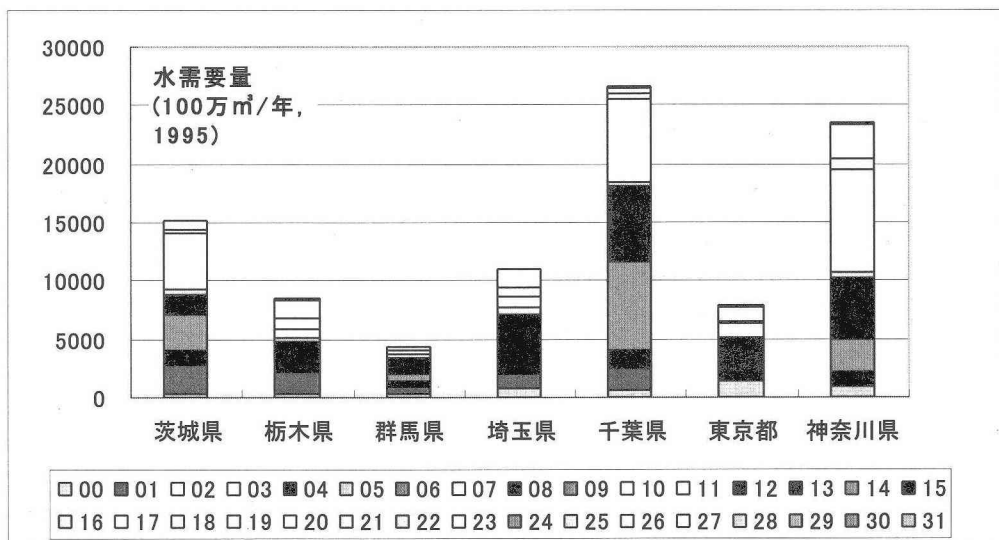


図1 東京湾流域の地域部門別水需要量

が得られた。その内、約5割は東京と以外の地域で誘発され、東京都での消費活動が、他地域の水需要量に大きく波及する構造が見て取れる。

さらに東京湾流域の部門別の誘発構造を見ると、化学工業(14)、石炭・石油製品業(15)、鉄鋼業(16)、機械・器具・部品(19)などの図1で示された水の需要の多い産業の、70%~80%は、その他の流域圏および海外へと財・サービスが流通することにより、誘発されることが明らかとなった。

(2) 東京湾流域の水需要分布

分布型インベントリースystemにより得られた東京湾流域の水需要分布(2000年)の結果として、農業用水(水田)、生活用水の他、マクロインベントリーでの結果を受けて、鉄鋼業、化学工業、プラスチック製造業および紙・パルプ業について考察する。

東京湾流域の農業用水は東京湾北西部の都心部を除き、800 m³/ha・年クラスの地域が全体的に分布しており、特

に埼玉県北東、栃木県南東、千葉県一茨城県境および茨城県北東部で、6,000 m³/ha・年クラスの農業の水需要が分布している(図6)。

生活用水(図7)も800m³/ha・年クラスの地域が全体的に分布している。特に東京湾北部沿岸域から北西に向けて放射状に40,000m³/ha・年クラスの家計の水需要が分布している。

東京湾の水需要に大きく影響する産業と考えられる鉄鋼業、化学工業、紙・パルプ業およびプラスチック製造業の水需要分布を図8~11に示す。鉄鋼業(図8)、化学工業(図9)は東京湾流域の各地域に点在しており、まばらであるが、15万m³/ha・年クラスの水需要が多い。

一方、紙・パルプ製造業(図10)は東京都都部に15万m³/ha・年クラスの水需要が集中している。またプラスチック製造業(図11)は、主に東京、埼玉、神奈川東部エリアに4万m³/ha・年クラスの水需要が分布しているという結果が得られた。

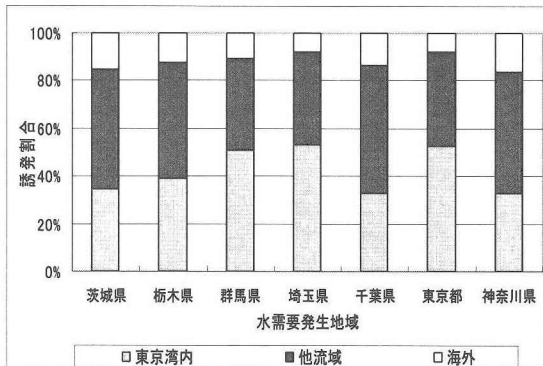


図3 地域別水需要誘発構造

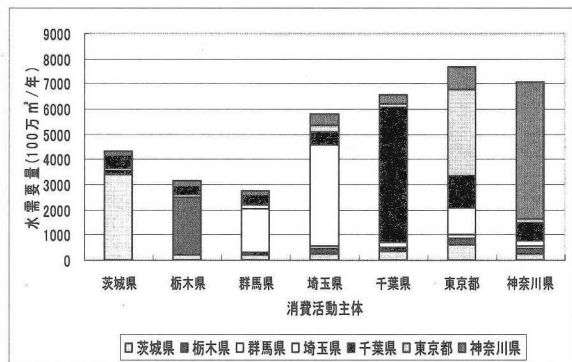


図4 東京湾流域の地域間の水需要依存構造

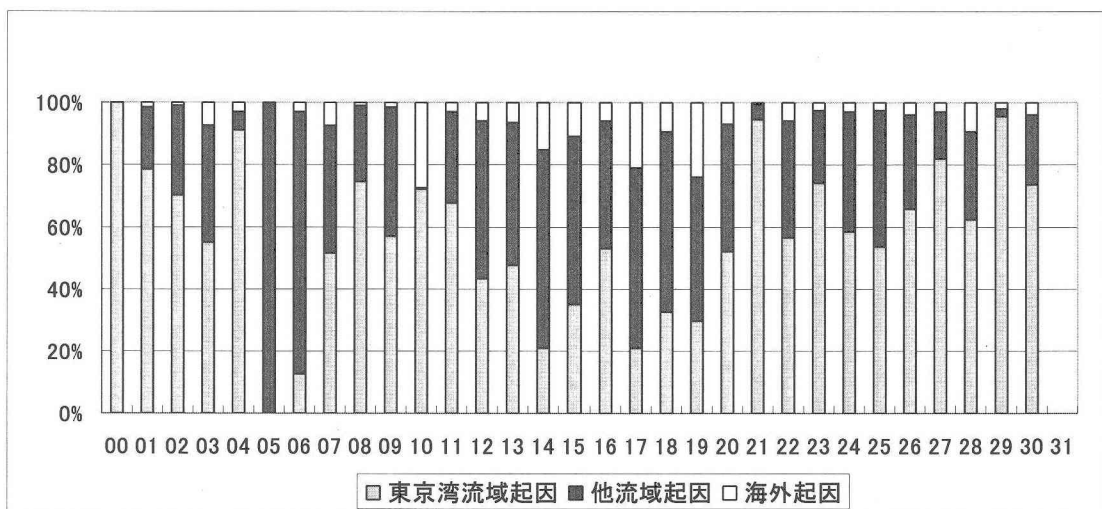


図5 東京湾流域の部門別の水需要誘発構造

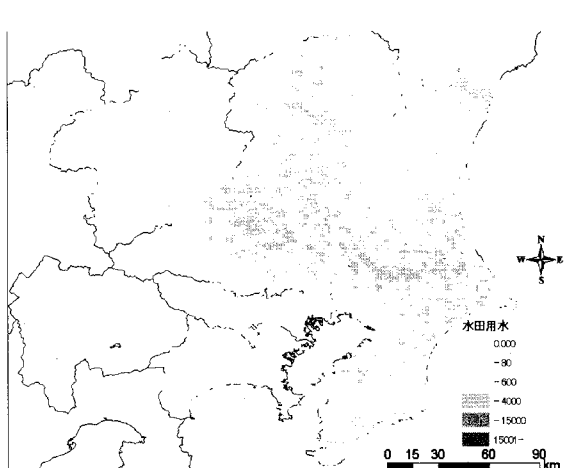


図6 農業用水の分布(水田)

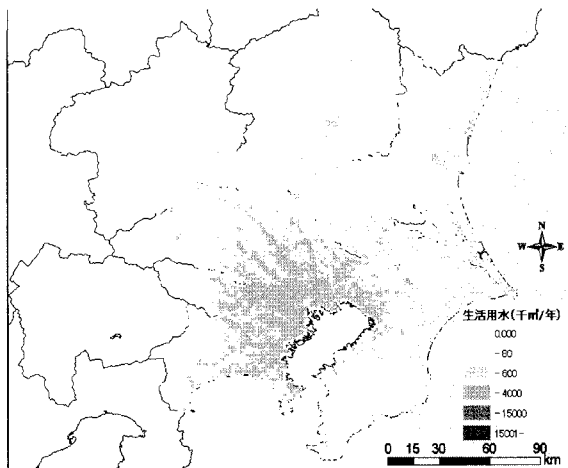


図7 生活用水の分布

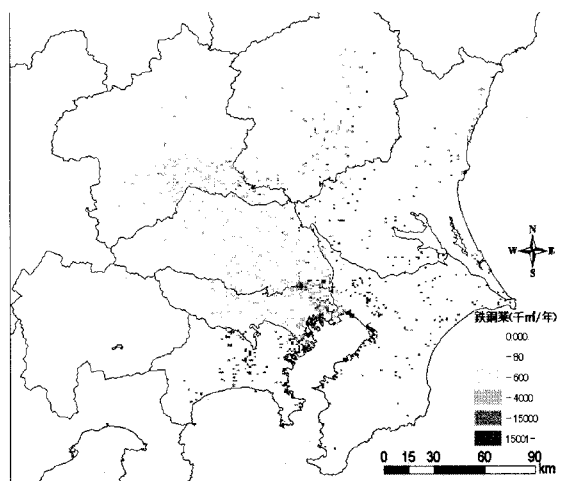


図8 鉄鋼業のの分布

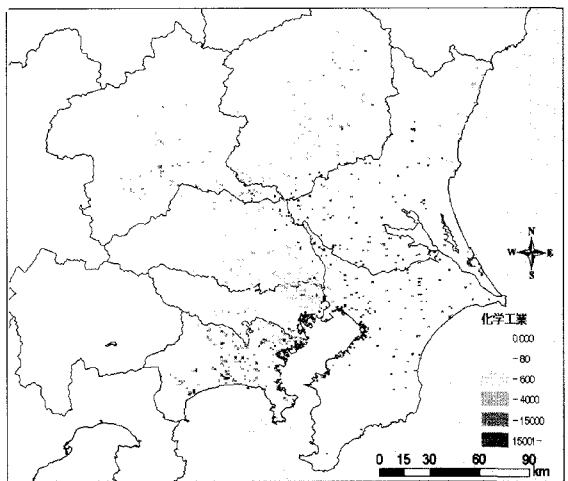


図9 化学工業の水需要分布

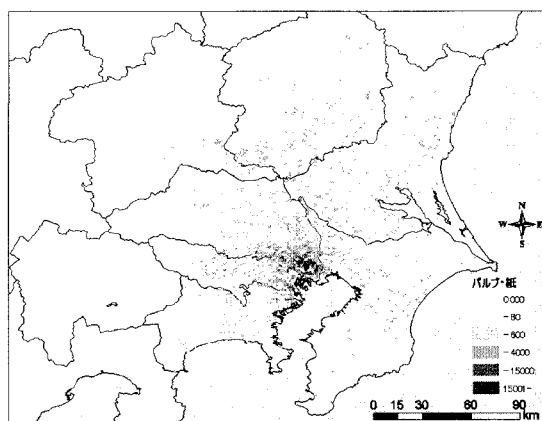


図10 紙・パルプ製造業の水需要分布

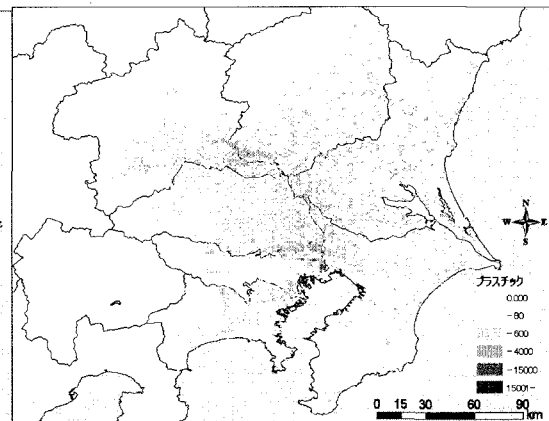


図11 プラスチック製造業の水需要分布

5. まとめ

(1) 結論

本研究は流域管理への適用可能な環境負荷排出インベントリーの作成を目的に、そのシステム開発を検討するものである。そのためには、流域の内外での流通活動の影響が評価可能なマクロなインベントリーシステムと、環境負荷の分布特性が把握可能な分布型インベントリーシステムが必要という観点から、各システム開発を進め、東京湾流域の水需要に対して適用した。その結果、東京湾流域では、鉄鋼業、化学工業などが多い沿岸地域(千葉県, 神奈川県, 茨城県)での水需要量が大きく(図 1), そのうち 6~7 割は流域外での消費活動に誘発される構造にある(図 2)ことが明らかとなった。一方、東京都の水需要量は少ないが、東京都での消費活動によって、東京湾流域で約 70 億 m^3 の水需要を誘発し、うち 5 割は東京都以外の地域で誘発されるという結論が得られた(図 4)。また水需要分布については、各部門ごとに分布の形態や強度が大きく異なることが明らかとなった。さらに水需要構造をマクロに把握した上で、具体的な水需要分布を把握し、各サブシステムを相互補完的に用いることで、東京湾流域の水需要分布特性をより現実的な形で把握できることが示された。

(2) 今後の課題

本システムは流域内外での人間活動の影響や流域内での分布を考慮するモデル構築と、これに基づく流域管理を目指した初動的な研究であり、課題となるべき点は多々あるが、中でも以下の 4 点が短期的・中期的課題として重要と考えられる。

a) データの精度の向上

今回の算定結果は報告値⁹⁾と比較すると工業用水が大きく算定されることがわかった。これはパラメータの設定の段階で、30 人以上の事業所規模のデータを全事業所に当てはめて補正したためであり、これらの問題を解決するために生産額ベースでの補正するアプローチへの変更が必要である。

b) 汚濁物質モデルへの展開

今回は、データのアクセシビリティの制約もあり、水需要という一部の環境負荷を対象とした初動的な研究の報告を行った。今後は排水量やそこに含まれる汚濁物質(C, N, P)について評価可能なシステムへと更新する予定である。

c) 分布モデルとマクロモデルの統合

今回は水需要構造をマクロに把握した上で、具体的な水需要分布を把握し、各サブシステムを相互補完的に用

いることで、東京湾流域の水需要分布特性の把握した。しかし、2 つのモデルでの整合性は担保されていないため、これらをシステムの統合する手法の開発が必要である。

d) 雨天流出モデルや地下水モデルとの連結

本モデルでは水需要のほか、排水やその中に含まれる汚濁負荷物質がどこで、どれだけ発生するかを推計することは可能であるが、最終的に河川や地下水を介して、自然環境へと流出していくかという挙動を把握することは出来ない。そのため、別途開発を進めている雨天流出モデルや地下水モデルとの統合を検討している。

謝辞: 本研究は、環境省環境技術開発等推進費推進費の課題「自然共生型流域圏・都市再生技術研究」の一部として実施されたものである。

参考文献

- 1) Millenium Ecosystem Assessment ホームページ,
<http://www.millenniumassessment.org/en/>
- 2) 総合科学技術会議ホームページ,
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/index/kagaku/>
- 3) Nakayama, T. and Watanabe M., Simulation of drying phenomena associated with vegetation change caused by invasion of alder(*Alnus Japonica*) in Kushiro Mire, WATER RESOURCES RESEARCH 40(8): Art. No. W08402, 2004
- 4) 中山忠暢・渡辺正孝, 霞ヶ浦流域での地下水が水・物質収支に及ぼす影響の再評価, 水工学論文集, 第 49 巻, pp1231-1236, 2005
- 5) 林誠二・村上正吾・徐開欽・渡辺正孝, 1998 年の大洪水を想定した三峡ダムによる長江中流域の洪水抑止効果, 第 12 回地球環境シンポジウム公開論文集, pp79-86, 2004
- 6) Kato, N. and Akimoto, H., Anthropogenic emissions of SO₂ and NO_x in Asia: Emission inventories, Atmospheric Environment, Vol. 26A(16), pp2997-3017, 1992.
- 7) Klimont, Z., Amann, M., Cofala, J., Gyarfas, F., Klaassen, G and Schopp, W., An emission inventory for the Central European Initiative 1988, Atmospheric Environment, 28(2): 235-246, 1994.
- 8) Sokona, Y., Greenhouse gas emission inventory for Senegal, 1991, Environmental Monitoring and Assessment, 38: 291-299, 1995.
- 9) Kato, N., Analysis of structure of energy consumption and dynamics of emission of atmospheric species related to the global environmental change (SO_x, NO_x, And CO₂) in Asia, Atmospheric Environment, 30(5): 757-785, 1996.
- 10) Gielen, D. J., Potential CO₂ emissions in the Netherlands due to carbon storage in materials and products, Ambio, 26(2): 101-106, 1997.
- 11) Baldasano, J. M., Soriano, C. and Boada, L., Emission inventory for green house gases in the City of Barcelona, 1987-1996, Atmospheric Environment, 33: 3765-3775, 1999.
- 12) Woo, J. - H., Baek, J. M., Kim, J. -W., Carmichael, G. R., Thongboonchoo, N., Kim, S. T. and An, J. H., Development of a multi-resolution emission inventory and its impact on sulfur distribution for Northeast Asia, Water, Air and Soil Pollution, 148: 259-27, 2003.
- 13) Kainuma, M., Matsuoka, Y. and Morita, T., Estimation of embodied CO₂ emissions by general equilibrium model, European Journal of Operational Research, 122: 392-404, 2000.
- 14) Leontief, W. W., Input-Output Economics, New York: Oxford University Press, 1966.
- 15) Leontief, W. Environmental Repercussion and Economic Structure: An Input-Output Approach, The Review of Economics and Statistics, 52:

- 262-271, 1970.
- 16) Duchin, F. and Szyld, D. B., A dynamic input-output model with assured positive output, *Metroeconomica*, 37: 269-282, 1985.
 - 17) Gay, P. W. and Proops, J. L. R., Carbon dioxide production by the UK economy: An input-output assessment, *Applied Energy*, 44(2): 113-130, 1993.
 - 18) Lave, Lester B., Hendrickson, E. C. - F. C. T. and McMichael, F. C., Using input-output analysis to estimate economy-wide discharges, *Environmental Science & Technology*, 29(9): 420-426, 1995.
 - 19) Lenzen, M., Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis, *Energy Policy*, 26(6): 495-506, 1998.
 - 20) Nansai, K., Moriguchi, Y. and Tohno, S., Compilation and application of Japanese inventories for energy consumption and air pollutant emissions using input-output tables, *Environmental Science & Technology*, 37(9): 2005-2015, 2003.
 - 21) Suh, S., Lenzen, M., Treloar, G. J., Hondo, H., Horvath, A., Huppes, G., Joliet, O., Klann, U., Krewitt, W., Moriguchi, Y., Munksgaard, J. and Norris, G., System boundary selection in Life-Cycle inventories using hybrid approaches, *Environmental Science and Technology*, 38(3): 657-664, 2004.
 - 22) Feng, J. - J., Allocating the responsibility of CO₂ over-emissions from the perspective of benefit principle and ecological deficit, *Ecol. Econ.*, 46: 121-141, 2003.
 - 23) Huang, G. H., Anderson, W. P. And Baetz, B. W., Environmental input-output analysis and its application to regional solid-waste management planning, *J. of Environmental Management*, 42: 63-79, 1994.
 - 24) Nakamura, S., An interindustry approach to analyzing economic and environmental effects of the recycling of waste, *Ecol. Econ.*, 28: 133-145, 1999.
 - 25) Lenzen, M. and Murray, X. A., A modified ecological footprint method and its application to Australia, *Ecol. Econ.*, 37: 229-255, 2001.
 - 26) Feng, J. - J., Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated with production activity, *Ecol. Econ.*, 37: 159-172, 2001.
 - 27) Duarte, R., Sanchez-Choliz, J. and Bielsa, J., Water use in the Spanish economy: an input-output approach, *Ecol. Econ.*, 43: 71-85, 2002.
 - 28) Ni, J. R., Zhong, D. S., Huang, Y. F. and Wang, H., Total waste-load control and allocation based on input-output analysis for Shenzhen, South China, *J. of Environmental Management*, 61: 37-49, 2001.
 - 29) Okadera, T., Watanabe, M. and Xu, K., Analysis of Water Demand and Water Pollutant Discharge using a Regional Input-Output Table: An Application to the City of Chongqing, upstream of the Three Gorges Dam in China, *Ecological Economics*, 2005 (In press)
 - 30) Nakayama, T. and Watanabe M., Simulation of drying phenomena associated with vegetation change caused by invasion of alder (*Alnus Japonica*) in Kushiro Mire, *WATER RESOURCES RESEARCH* 40(8): Art. No. W08402, 2004.
 - 31) 茨城県企画統計課, 平成7年茨城県産業連関表, 2000
 - 32) 栃木県企画部統計課, 平成7年栃木県産業連関表, 2000
 - 33) 群馬県企画部統計課, 平成7年群馬県産業連関表, 2000
 - 34) 埼玉県統計課, 平成7年埼玉県産業連関表, 2000
 - 35) 千葉県総合企画部統計課, 平成7年千葉県産業連関表, 2000
 - 36) 東京都総務局統計部調整課, 平成7年東京都産業連関表, 2002
 - 37) 神奈川県統計課, 平成7年(1995)神奈川県産業連関表, 2000
 - 38) IDE/JETRO, Multi-Regional Input-Output Model For China 2000, I.D.E. Statistical Data Series No.86, 2003
 - 39) 国土交通省, 第7回全国貨物純流動調査(物流センサス), 2002
 - 40) Stone, R. and Brown, J. A., A long-term growth model for the British economy, Chapter 10 of *Europe's future in figures*, North-Holland Pub. 1962.
 - 41) 国土交通省土地・水資源局水資源部編, 平成16年版日本の水資源, pp233-234, 2004
 - 42) 農林水産省大臣官房統計部, 耕地及び作付面積統計, 各年版
 - 43) 総務省統計局統計調査部経済統計課事業所・企業統計室, 事業所・企業統計調査報告, 各年版
 - 44) 国土交通省土地・水資源局水資源部編, 平成16年版日本の水資源, p253, 2004
 - 45) 国土交通省土地・水資源局水資源部編, 平成16年版日本の水資源, pp233-234, 2004
 - 46) 国土庁水資源局編, 21世紀の水需要, p120, 山海堂, 1983
 - 47) 農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課, 畜産統計, 各年版
 - 48) 総務省統計局統計調査部経済統計課事業所・企業統計室, 事業所・企業統計調査報告, 各年版
 - 49) 経済産業省経済産業政策局, 平成7年工業統計表(用地用水編), 1997
 - 50) 総務省統計局統計調査部経済統計課事業所・企業統計室, 事業所・企業統計調査報告, 各年版
 - 51) 国土交通省土地・水資源局水資源部編, 平成16年版日本の水資源, p253, 2004
 - 52) 総務省統計局, 平成12年国勢調査に関する地域メッシュ統計, 経済統計情報センター
 - 53) 経済産業省, 平成12年工業統計メッシュデータ, 2003
 - 54) 財団法人農林統計境界, 2000年世界農林業センサス 農業集落カード, 2002
 - 55) 経済産業省経済産業政策局, 平成12年工業統計表(市区町村編), 2002
 - 56) 国土交通省土地・水資源局水資源部編, 平成16年版日本の水資源, pp233-234, 2004
 - 57) 経済産業省経済産業政策局, 平成12年工業統計表(用地用水編), 2002
 - 58) 国土交通省土地・水資源局水資源部編, 平成16年版日本の水資源, p253, 2004
 - 59) 国土交通省土地・水資源局水資源部編, 平成16年版日本の水資源, p65, 2004

The System of Environmental Loads Emission Inventory for Basin and Watershed Management – the case study of water demand in Tokyo Bay Basin Area-

Tomohiro OKADERA, Tsuyoshi FUJITA, Masataka WATANABE and Yota SUZUKI

It's is important to know how much environmental load is emitted into environment for basin management. This paper has proposed the system of environmental loads emission inventory in basin scale. , developed two sub-models, macro inventory model and distributed inventory model and applied

to calculate water demand in Tokyo Bay Basin Area. In the result, there is a large water demand in the coastal areas and from 60% or to 70% of water demand is induced by external area. At the same time the economic consumption in Tokyo can induce water demand of 3.5 billion m³ per year in the rest of Tokyo Bay Basin Area though few water is required in Tokyo.