

## 化学物質の環境動態とリスク評価

鈴木規之

## Assessment of Environmental Fate and Exposure Variability of Organic Contaminants

Noriyuki SUZUKI

*Research Center for Environmental Risk, National Institute for Environmental Studies,  
16-2 Onogawa, Tsukuba City 305-8506, Japan*

(Received October 24, 2006)

Advanced fate assessment and its application/implication for hazardous chemicals is discussed. The spatially resolved fate assessment of chemicals has been performed using a newly developed spatially resolved multimedia environmental fate model (G-CIEMS: Grid-Catchment Integrated Modeling System) based on the geographical information system environment. The G-CIEMS modeling system has roughly  $5 \times 5$ -km resolution on the entire Japanese terrestrial region, combining a gridded-air and catchment-based surface and river geographic structure. A summary of the model description is given and validation results are discussed, which showed generally acceptable agreement between measured and simulated environmental levels for several tested chemicals. By applying the results of spatially resolved environmental concentration, the geographic distribution of exposure to humans is estimated, which showed that the majority of exposure occurred in Japan's land area with higher environmental concentration at the level of 99 percentiles or higher. The impact on the geographic distribution of environmental levels on human exposure from fish is analyzed based on monitoring, modeling, and several social and fisheries statistics. The results of estimation were compared to those of total diet studies. The estimated results are in a range close to the results of the total diet survey and thus basic validation was achieved in this study. However, as the nature of samples differed, more in-depth comparison may be necessary for future study.

**Key words**—Geo-referenced multimedia fate model; exposure distribution; exposure route

## 1. GIS 多媒体モデルによる曝露評価の試みと意味

**1-1. 概要** 改めて述べるまでもなく、化学物質の濃度は地点によって大きく異なり、明らかな地理的な濃淡＝空間分布が存在する。これに対し、大気汚染物質等では、曝露量の空間分布を考慮する試みは既に行われてきているが、一般に大気・水・土壌・底質など複数の媒体をまたがる動態を示す一般の化学物質については、これまで空間分布を考慮した曝露解析はあまり行われてきていない。また、大気の場合と異なり、例えば食品のように環境汚染の状況からさらに魚類や作物、流通等の要因を経ての間接曝露を受ける場合についての解析は、例えば大

気汚染物質で想定されるような直接曝露の取り扱いとは全く異なった方法が必要となるが、そのような視点での検討も進んでいない。

本稿では、化学物質の空間濃度分布を解析するための GIS 多媒体モデル、また、この結果を曝露評価に結び付けることを意図した、環境汚染の濃度分布を考慮した魚介類からの曝露推定に関するわれわれの試みを述べ、化学物質の環境動態と曝露評価に関する今後の可能性を紹介したい。

**1-2. 空間分解能を持つ多媒体モデル：GIS 多媒体動態モデル G-CIEMS<sup>1)</sup> の概要** 化学物質の空間分布を持つ環境動態の解析のためには、Fig. 1 に示したような多媒体動態を空間分解能を有するモデルが必要となる。われわれは、近年の GIS (地理情報システム) の発展によって可能となった GIS 河川モデル<sup>2)</sup>の機能を含み、同時に、大気、土壌、底質、海域などとの多媒体動態を包括的に推定するモデルを開発することを考え、Fig. 1 に示すような

独国立環境研究所環境リスク研究センター (〒305-8506 つくば市小野川 16-2)

e-mail: nsuzuki@nies.go.jp

本総説は、日本薬学会第 126 年会シンポジウム S3 で発表したものを中心に記述したものである。

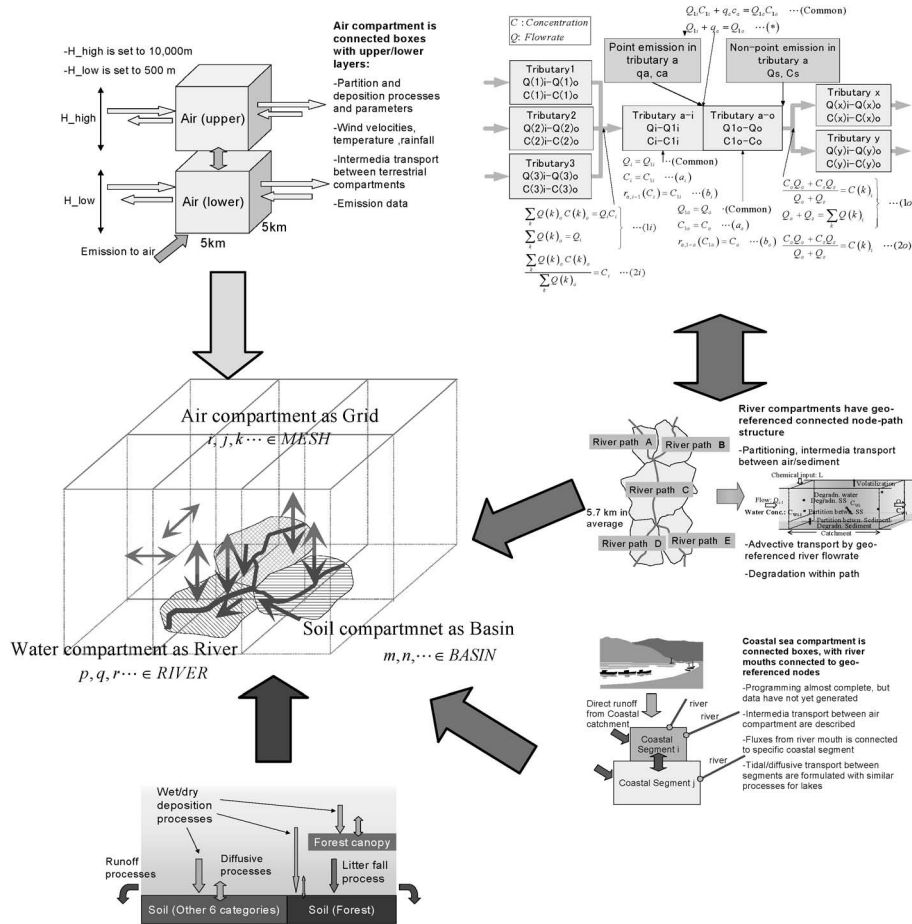


Fig. 1. Schematic Diagram of Fate Processes in G-CIEMS Multimedia Model<sup>1)</sup>

GIS 多媒体モデル (G-CIEMS: Grid-Catchment Integrated Modeling System)<sup>1)</sup>を開発した。

G-CIEMS モデルは、化学物質の動態解析で広く用いられる多媒体モデル<sup>3)</sup>を基盤とし、この種のモデルの持つ多媒体間の詳細な動態記述能力を保持しながら、これを GIS 河川モデル<sup>2)</sup>の取り扱うような河道ネットワークを通じた動態予測機能、また、大気モデル等が扱う大気輸送の機能を達成するよう構成したものである。本モデルにおいては、大気はグリッド上の形状により、地表面は単位流域の GIS オブジェクトにより、河川は単位流域に対応する河道オブジェクトにより、また、海域その他必要な GIS オブジェクトを計算要素として、媒体内の移流と媒体間の輸送を総合的に記述している。

1-3. GIS による河道ネットワークの取り扱い  
 動態解析の中で、特に従来まで大きな困難があった点の1つは、河川を流下する水塊の輸送の取り扱いであった。大気のような等方的な媒体は単純なグリ

ッド分割によって詳細な取り扱いが比較的容易に可能であるが、河道ネットワークは非等方的であり、GIS 的な取り扱いが有効である。Figure 2 は筆者らの G-CIEMS モデルの例<sup>4)</sup>であるが、他の GIS モデル<sup>2,5,6)</sup>もほぼ同様な考え方での定式化を行っている。

1-4. 排出推定  
 モデル推定を実施するためには、化学物質の環境中への排出量の推定が必要となる。従来より国内においては、環境観測のデータは環境省等により広くデータ蓄積が行われていたが、排出量データは不足していた。数年前より環境省・経済産業省で実施されている PRTR 事業 (汚染物質排出移動登録制度) は重要な情報を提供しており、<sup>7)</sup> この結果を用いて、例えば Fig. 3 に示すように、全国 1 km 分解能での詳細な排出推定が作成されている。<sup>8)</sup>

PRTR による排出推定は、現時点ではかならずしも十分な精度・信頼性を有する訳ではなく、また、推定が完全に包括的に行われている訳でもない

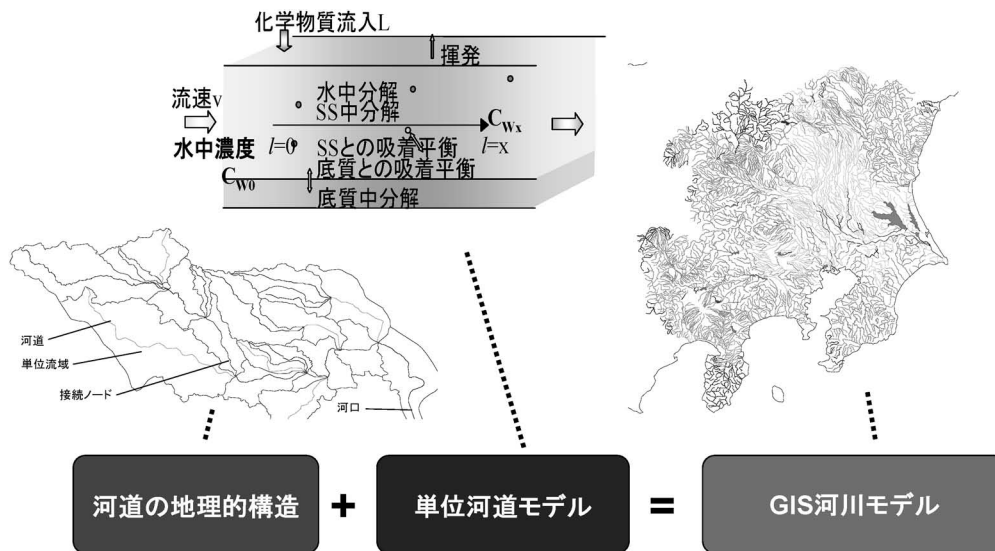


Fig. 2. Adoption of Model to GIS-based River Networking Structure<sup>4)</sup>

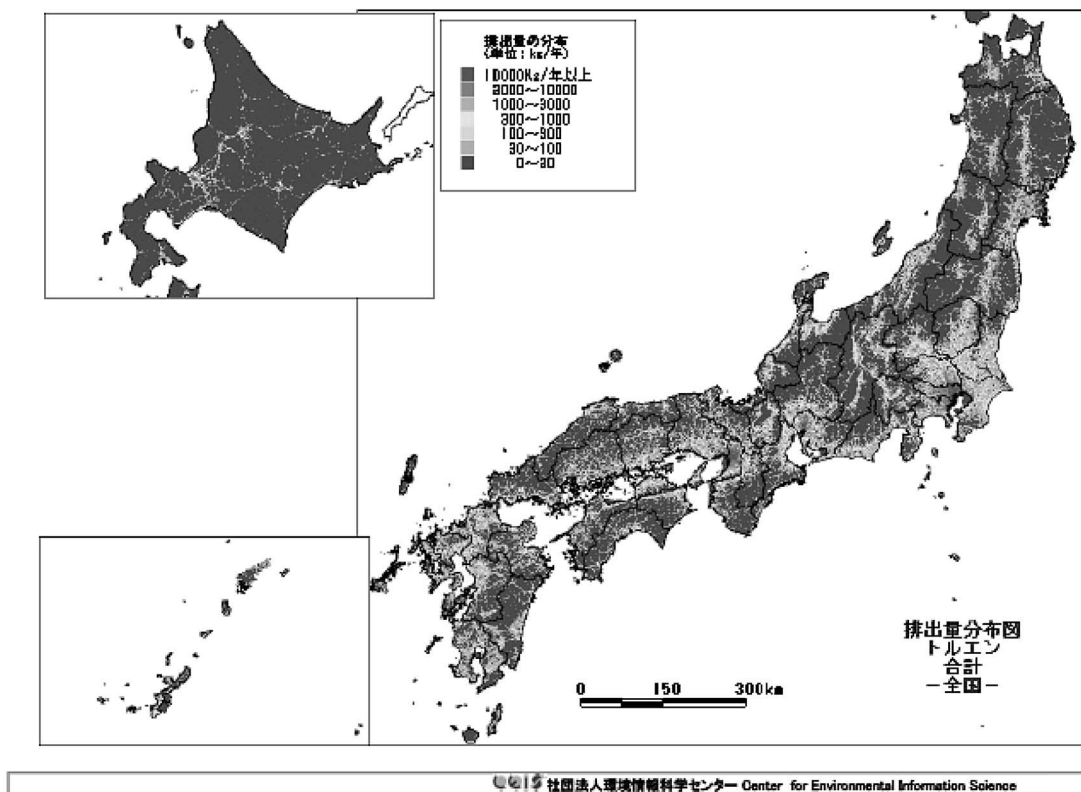


Fig. 3. Example of Spatially Resolved Emission Estimation Based on PRTR Data<sup>8)</sup>

が、一方で、全国規模でこれだけ詳細に検討された排出推定は、大気汚染物質や一部の水質汚濁物質などの限られた例を除けば全くなかったものであり、十分な能力を有する環境動態モデルとの組み合わせによって、曝露の詳細解析や汚染予測に新たな手段

となるものと考えられる。

1-5. ダイオキシンほかいくつかの物質における事例研究 モデル開発とともに、日本全国の地理情報 (GIS) データの整備を行い、特に、全国の河道に対して 5—6 km 河道長の分解能において上流

一下流の結合状況とデフォルトの水文データを記述したデータセットを作成した。<sup>9)</sup> これらにより、現在、日本全国で、大気については 5 km 又は 1 km 分解能で、河川・流域については平均 5.7 km 及び 9.4 km<sup>2</sup> の分解能で多媒体の動態モデル計算を実施することが可能である。Figure 4 は PRTR による排出量推定データ<sup>8)</sup>を用い、大気中ベンゼンの環境レベルの推定を行った結果である。

また、化学種間の変換過程を考慮することがしばしば必要であるため、本モデルでは複数の物質種間の変換を記述し、例えば、ノニルフェノールの河川水中濃度の推定 (Fig. 5) を求めるに当たっては、



の変換を考慮し、ノニルフェノールエトキシレート  
の排出量も合わせて利用した推定結果を求めた。この場合の変換過程の定式化はまだ単純すぎるため今後さらに検討する必要があるが、現在のモデルでこの程度の変換を組み込むことは可能となってい

る。<sup>10)</sup>

## 1-6. 暴露量の空間変動の考察

**1-6-1. 人への暴露量の空間分布** 環境濃度に関する G-CIEMS 多媒体モデルの推定値を用いて、環境濃度の統計的分布とヒトへの暴露状況の関連を考察したものを Fig. 6<sup>1)</sup> に示す。

Figure 6 には G-CIEMS 多媒体モデルの出力結果から、ベンゼンとダイオキシン類の全国の推定濃度分布と、これまで広く用いられている Generic 多媒体モデル (ここでは EUSES/SimpleBox) の点推定値、観測値の範囲、及び、GIS モデルの推定濃度域に居住する人口の分布を重ねてプロットした。Figure 6 は、従来の Generic 多媒体モデルが、詳細な分解能を持つ動態モデルの推定分布の中でおよそ中央値を与えること、動態モデルにより推定した空間濃度の分布はほぼ対数正規的であり、また、人口は濃度分布の 95 パーセントイル程度以上の高濃度域に大部分が居住していることなどを示している。これらは、今後、このような環境濃度の空間分布を

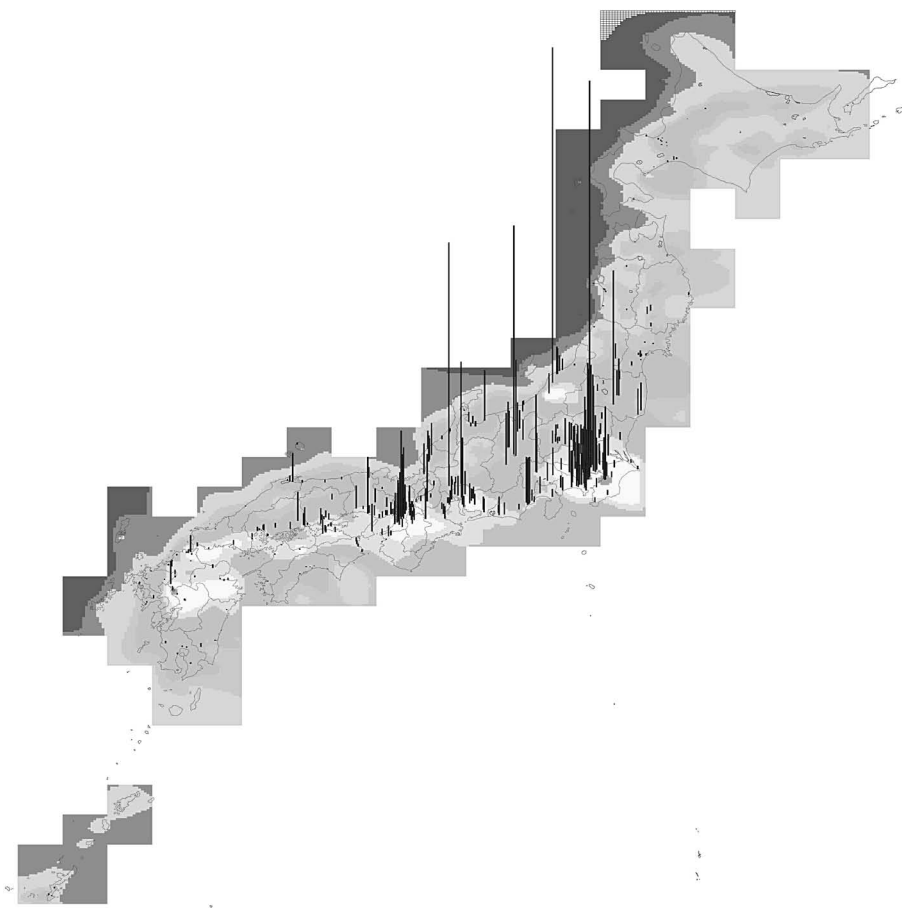


Fig. 4. Simulation Result of Air Concentration of Benzene<sup>1)</sup>

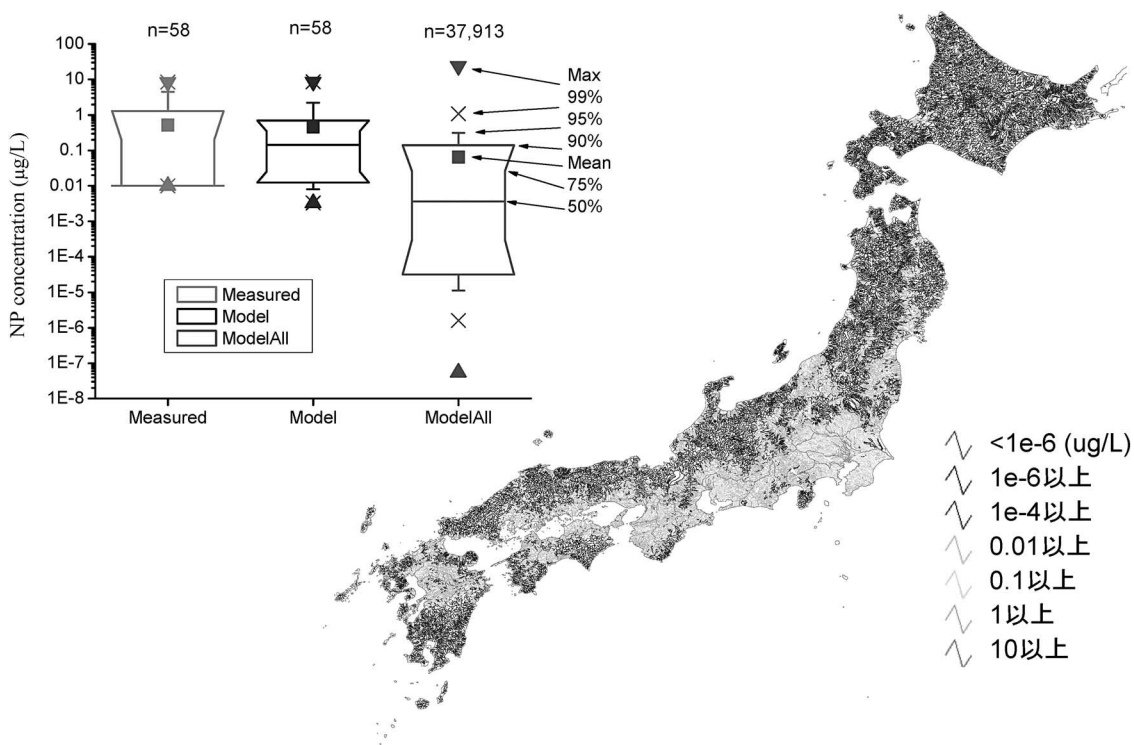


Fig. 5. Simulated and Measured Concentration Ranges of Nonylphenol in River Water<sup>10)</sup>

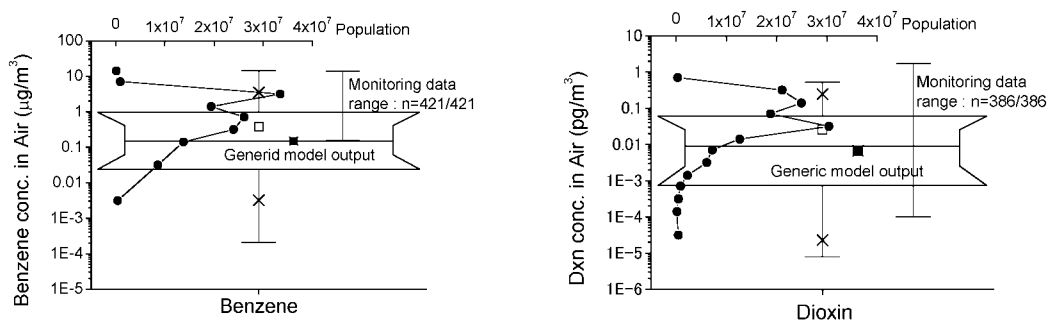


Fig. 6. Comparison among Air Concentration Distribution from G-CIEMS Model, Exposed Human Population, and Point Estimation of Air Concentration from Generic Multimedia Fate Model (EUSES/Simple Box)<sup>1)</sup>

暴露評価において適切に考慮し、また、このような空間分布を限定された観測値から適切に推定する統計手法の開発などを進める必要があることを示唆している。

Figure 6 の考察に基づき、Fig. 7 に示すように、環境濃度と人口分布の関連を考慮して、暴露加重平均濃度 (EWAC) を、従来からの Generic 多媒体モデル、観測値、及び GIS 多媒体モデルの結果から算出した結果を Table 1 に示す。

**1-6-2. 河川水中濃度の空間分布** Figure 8 は、河道ネットワーク上の河川水中濃度の推定結果

を、河道長さ当たりの累積出現率として表示したものである。これまで、河川水中濃度の平均値あるいは分布を、限られた観測や河道ネットワークを考慮できない従来のモデルから推定することは困難であったが、GIS 上の河道ネットワークを扱うモデルによって、今後、河川水濃度の空間分布を考慮していくことが可能になると考えられる。

**2. 化学物質のリスク評価の階層的構成における空間分布の取り扱い**

われわれは、化学物質のリスク評価において、空間分布あるいは時間分布を取り入れた階層的概念を

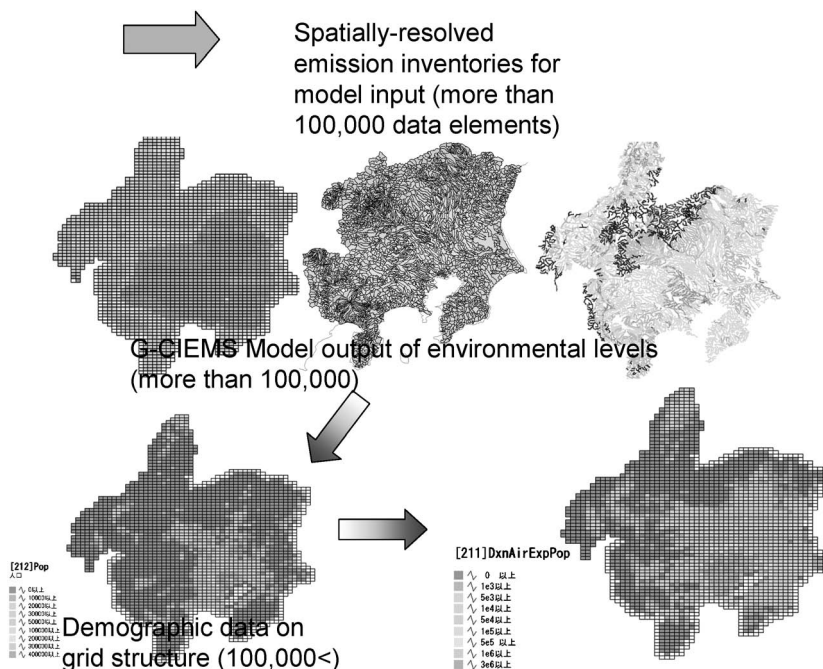


Fig. 7. Estimation Scheme of Spatial Exposure Distribution to Humans

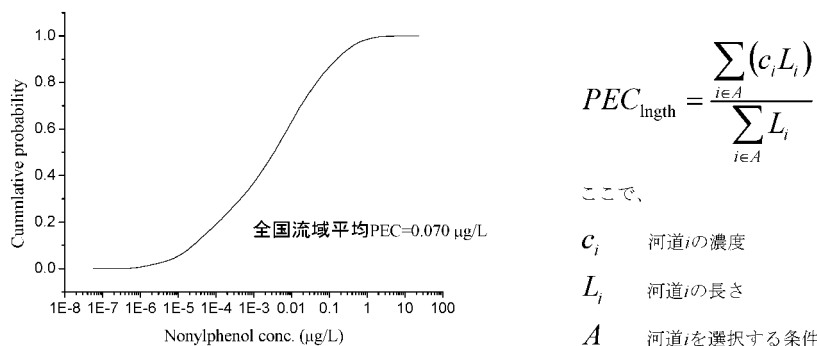


Fig. 8. Cumulative Probability of River Water Concentration in River Paths and Space-averaged PEC (Predicted Environmental Concentration) Concept

Table 1. Comparison of Exposure-weighted Averaged Concentration Obtained by Three Different Approaches<sup>1)</sup>

	Generic model approach	G-CIEMS approach	Monitoring approach
EWAC in air for benzene ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.15	1.4	2.3
EWAC in air for dioxins ( $\text{pgTEQ}/\text{m}^3$ )	0.0067	0.20	0.23
EWAC in air for 1,3-butadiene ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.0071	0.14	0.32

「Generic-spatial」アプローチとして提案している。この考え方を Table 2 に示す。今後、暴露評価のアプローチとして新たな手法を適切に取り扱う枠組みをさらに検討していく必要があると考えられる。

3. 環境汚染の地理的分布を考慮する魚介類からの曝露推定

3-1. 検討の概要 GIS 多媒体モデルの検討からも明らかのように、多くの物質や事例において、化学物質の環境汚染状況には地理的な濃淡が存在し、高濃度と低濃度の地域が存在し、これらは例えば GIS 多媒体モデル等の手段によって推定することが可能となっているが、一方、食品としての魚介

Table 2. Possible Approaches Using Different Level of Geographical Details in Risk Assessment Scheme<sup>1)</sup>

Approach	Expected output information	Model and data requirements for chemical, emission, and environmental data	Accuracy of output information depending on the resolution of output			Proposed use of approach
			Generic	Spatial	Site-specific	
Generic	Point data only	Generic model using generic-national data with no resolution	Med <sup>d)</sup>	N.A.	N.A.	Screening at the production stage
Generic-spatial	Point and distribution	Geo-referenced/spatially-resolved model using generic-national data with geo-referenced resolution by appropriate allocation	High <sup>b)</sup>	Med <sup>c)</sup>	Low <sup>d)</sup>	Assessment with practical reality for the national control strategy
Site-specific	Site-specific detailed	Site-specific model using local data	N.A.	N.A.	High <sup>e)</sup>	Site-specific control

N.A. Not Applicable. a) Utilization of generic approach will give medium accuracy at the generic output resolution. Application of EUSES to obtain point estimation is a typical example. b) Utilization of aggregated output at generic resolution from generic-spatial approach, like averaging concentration, will give higher accuracy than other approaches for this output. Use of averaged output from G-CIEMS is an example. c) Utilization of output at spatially-resolved resolution from generic-spatial approach will give medium accuracy for this output. Application of G-CIEMS or ADMER (20) to obtain spatial distribution is an example. d) Utilization of output at site-specific resolution from generic-spatial approach may not be feasible, unless site-specific environmental and emission information is available. e) Utilization of output at site-specific, detailed resolution like several ten meters' resolution will be possible by site-specific approach by appropriate methodology. Application of local air dispersion models at the emission site is an example.

類を通じて曝露されるような間接曝露の場合に、環境汚染状況とヒトへの曝露状況の関連の考察が不十分であった。このため、環境汚染の状況からヒトへの曝露状況を再現することができず、例えば、排出削減対策がどのようにヒトへの曝露を削減できるかなど、合理的な対策立案に必要な情報が推定できない状況である。

本検討では、沿岸魚における魚介類の産地別濃度の分布を考慮した曝露量分布の解析により、水域の濃度分布から魚介類の産地別濃度分布を推測し、これに基づいて全国の曝露量分布を推定する手法について検討した。検討の概念図を、Fig. 9に示す。

推定においては、水産関連統計で識別が可能な沿岸、養殖、沖合、遠洋、輸入の5区分を設定し、各区分毎の消費量と観測濃度分布を用いて曝露量を推定した。このうち、沿岸魚について新たに水域の濃度分布から生物濃縮傾向を考慮した解析を行った。

すなわち、沿岸・養殖魚については、県単位の産地別出荷量と水域の濃度分布と生物濃縮係数を用いた予測濃度の分布を利用して、水域の濃度分布に基づく産地別推定を行った。沖合、遠洋、輸入の3区分については、世界的な地理分布との関連付けは現時点では困難であり、全国消費量と全国規模での観測濃度分布を用いて推定を行った。

ヒトへの曝露量としては、これらのデータをすべて全国単位で集計し、全国の平均値と分布推定値を

算出した。この推計においては、過去数年間では経年的な濃度の変化傾向はなく、また、流通による移動により、消費地における魚介類の産地別組成は全国すべて同一であると仮定した。

**3-2. 産地区分の設定** 日本国内に消費される食用向け魚介類は、産地水域により沿岸魚（海面養殖込み）、沖合魚、遠洋魚と輸入魚に区分した。沿岸水域のダイオキシン濃度の地域差を考慮し、さらに県単位の区分した。

**3-3. 産地別魚介類濃度の統計量と分布推定** 推定に使用したデータを Table 3 に示した。

**3-4. BCF による沿岸魚介類ダイオキシン類の濃度推定** 環境省によるダイオキシン類一斉調査データを用い、主要な14種類の魚介類の魚種毎に生物濃縮係数（BCF）の推定を行った。このBCFと環境中濃度を用いて沿岸魚介類県別ダイオキシン類濃度を水質濃度から推定した。方法としては、まず、環境省ダイオキシン類一斉調査データの水質濃度調査値より沿岸海域のダイオキシン類水質濃度の県別平均値を求め、ついで、環境省ダイオキシン類一斉調査データの水質濃度と水生生物濃度を用いて全国レベルでの14種類の魚介類の魚種別濃縮係数を推計した。

Table 4 に示される通り、BCFにも大きなばらつきがあることから、魚種別BCFを対数正規分布又は最適分布に当てはめて以下の式で各県の沿岸魚介

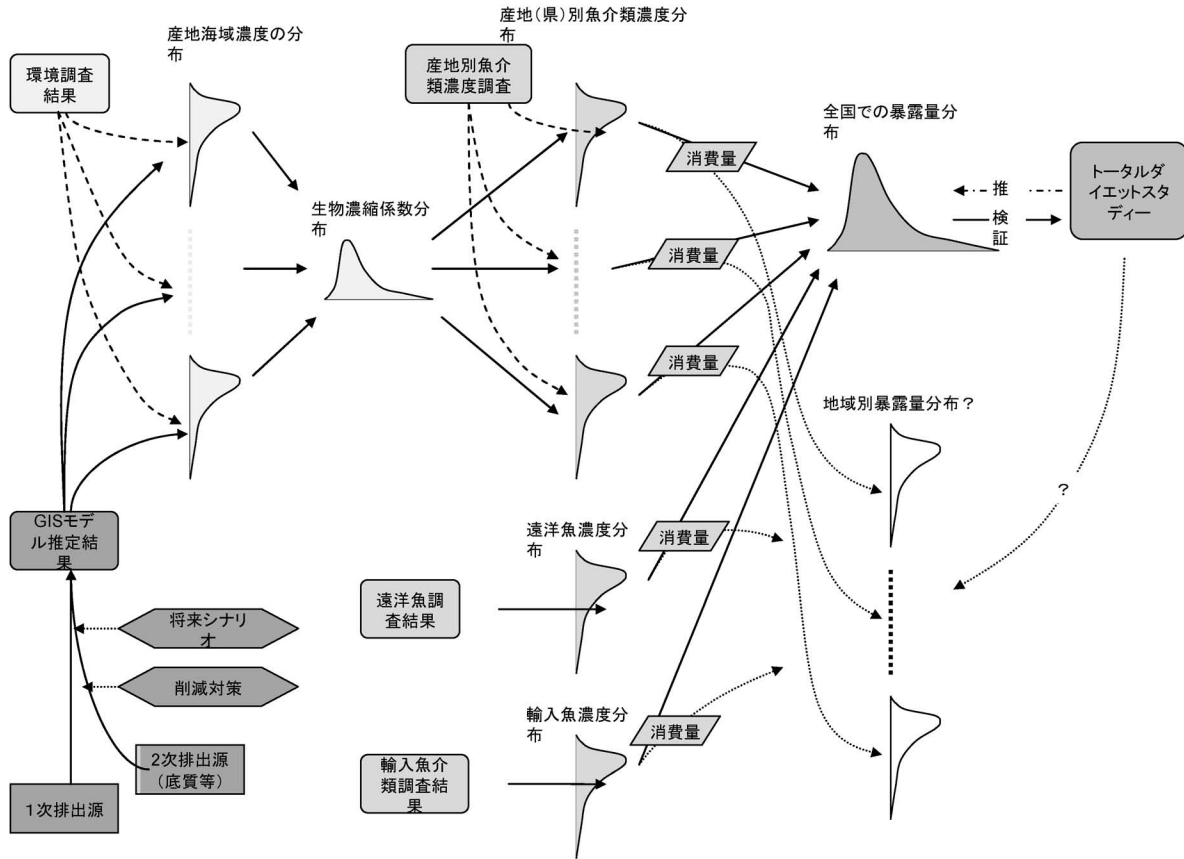


Fig. 9. Exposure Estimation Based on the Region-specific Environmental and Fish Concentrations

Table 3. Statistical Data Used for the Exposure Estimation Based on Region-specific Data

	主な項目	調査範囲, 期間	調査	担当機関
沿岸魚/県単位	魚中濃度	全国, 平成 11 年	ダイオキシン類緊急全国一斉調査	環境省
海面養殖/県単位	魚中濃度	全国, 平成 11 年	ダイオキシン類緊急全国一斉調査	環境省
沖合魚/全国	魚中濃度	全国, 平成 11 年—平成 13 年	魚介類中のダイオキシン類の実態調査	水産庁
遠洋魚/全国	魚中濃度	全国, 平成 11 年—平成 13 年	魚介類中のダイオキシン類の実態調査	水産庁
輸入魚/全国	魚中濃度	全国, 平成 11 年—平成 13 年	魚介類中のダイオキシン類の実態調査	水産庁

類濃度の分布を 2 通りに導いた。

$$\begin{aligned} \text{沿岸魚介類濃度}_{\text{県}} &= \text{水中濃度}_{\text{県}} * \sum_{\text{魚種}} \text{濃縮係数}_{\text{魚種}} \\ &\times (\text{沿岸魚漁獲量} + \text{海面養殖魚生産量})_{\text{県, 魚種}} \\ &/ (\text{沿岸魚漁獲量} + \text{海面養殖魚生産量})_{\text{県}} \end{aligned}$$

**3-5. 曝露量の分布推定** ここまでのデータにより、県単位において水域のダイオキシン類濃度から推定された沿岸魚の濃度推定値の分布を求めた。また、全国単位の沖合、遠洋、輸入魚各区分については、別途の調査データから濃度のヒストグラム及び最適分布を求めて推定に利用した。

**3-6. 国内水産品食用向け消費量**

**3-6-1. 推定に用いたデータ一覧** Table 5 に国内水産品食用向け消費量の推定に用いたデータの一覧を示す。

**3-6-2. 水産品の食用向け国内消費量の推定** 水産品生産量には、魚油・飼肥料や養殖用・漁業用餌料としての非食用向け用途があるため、食用向け用途の出荷量を推計する必要がある。水産物流通統計年報の産地 32 漁港における 19 品目魚介類の用途別構成比調査データによると、32 漁港の総水揚量のうちの 72% が食用向けである。このことから、遠洋魚、海面養殖魚は 100% が食用向け用途と想定



Table 4. Species-specific BCFs Derived from Special Survey Data of Ministry of the Environment

(1000 倍)

	データ数	算術平均	標準偏差	最小値	最大値	幾何平均	幾何標準偏差
01 まぐろ類	9	6.184	3.599	2.009	12.770	5.207	1.918
02 あじ類	209	12.258	12.973	0.443	100.011	7.976	2.627
03 いわし類	49	12.195	10.405	0.405	49.554	8.334	2.669
04 かれい類	336	10.178	17.192	0.124	185.127	5.192	3.269
05 さけ	47	13.614	17.233	0.243	95.645	7.243	3.370
06 かつお	17	33.417	61.327	1.455	265.217	16.289	3.167
07 さば	97	16.114	22.372	0.247	136.970	8.253	3.348
08 さんま	3	15.993	10.237	4.273	23.188	12.668	2.568
09 ぶり	103	10.338	11.128	0.794	76.067	6.986	2.410
10 いか	161	5.792	4.972	0.097	24.786	3.946	2.662
11 たこ	90	3.753	3.130	0.221	13.809	2.652	2.453
12 かに	37	17.952	14.617	1.458	57.108	12.187	2.671
13 えび	84	4.606	3.682	0.175	21.294	3.330	2.445
14 貝類	92	2.071	2.232	0.050	14.157	1.304	2.712

Table 5. Statistical Data Used to Estimate Production of Fish for Domestic Food Consumption

	主な項目	収録範囲, 発行期間	資料	担当機関
沿岸魚/県単位	生産量	全国, 平成 14 年	各県水産統計年報	水産庁
海面養殖/県単位	生産量	全国, 平成 13 年	漁業・養殖業生産統計年報	農林水産省
沖合魚/全国	生産量	全国, 平成 14 年	各県水産統計年報	水産庁
遠洋魚/全国	生産量	全国, 平成 14 年	各県水産統計年報	水産庁
魚介類全品目	需給量	全国, 平成 14 年	水産物流通統計年報	農林水産省
産地 32 漁港 19 品目魚介類	用途別構成比	全国, 平成 14 年	水産物流通統計年報	農林水産省

し、遠洋魚、沖合魚と沿岸魚の合計生産量の 72% が食用向けと想定する。沖合魚と沿岸魚の食用向け出荷量は、遠洋魚+沖合魚+海面養殖魚の生産量合計の 72% から遠洋魚生産量を差し引いたのち（食用向け 100%）、残りを生産量で按分して推定値を求めた。輸入魚は、水産品の需給表の食用向けの値を用いた。この解析方法は、魚介類中濃度の観測値を用いた解析と同様である。

食用向け国内消費量は、需給表より食用向け水産品の日本国内向け消費率を求め（国内消費向け/（国内生産+輸入））、これを食用向け用途水産品の出荷量に乗じて推定した。最後に、水産品の食用向け国内消費率が産地県によって変わらないと仮定し、各産地県の沿岸魚と海面養殖魚の食用向け国内消費量を、各産地県の対応する生産量から計算した。

これらより求めた消費量の推定結果を Table 6 に示す。

### 3-7. 水産品摂取量 水産品の全国平均個人食

Table 6. Supply and Demand Estimation of Fisheries Products for Foods

単位：1000 トン

	総供給量	うち食用向け用途	食用向け国内消費量
遠洋魚	686	686	658
沖合魚	2258	1510	1447
沿岸魚	1489	996	954
海面養殖魚	1333	1333	1278
輸入魚	6748	4419	4235

使用データ：

H14 水産物流通統計年報

関連統計：水産物需給表 pp. 416

水産物流通形態別統計（32 漁港）：用途別出荷量（19 品目）pp. 262

H14 漁業・養殖業水産統計年報

総括表：漁業・養殖業部門別統計 pp. 40

養殖種類別収穫量 pp. 206.

事經由摂取量は、厚生労働省「国民栄養調査」平成 13 年のデータにより、三角分布（最大値：154.00、最小値：50.50、最頻値：102.90）（単位：g/day）を用いて推定した。

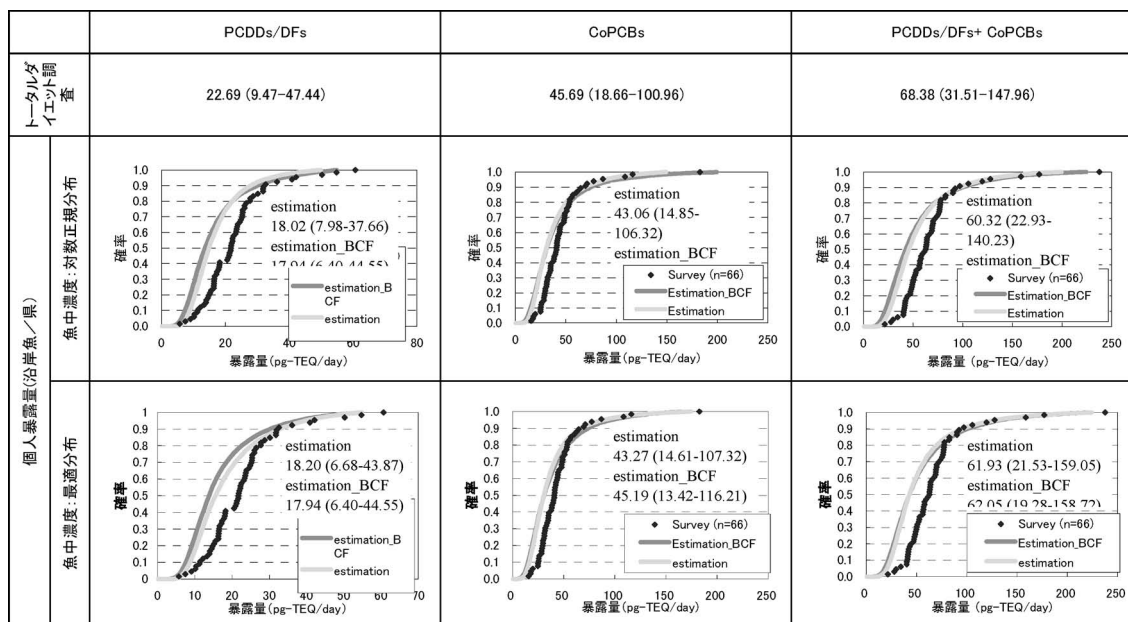


Fig. 10. Exposure Distribution Derived from Region-specific Fish Concentrations for PCDD/Fs, Co-(DL-)PCB, and Total TEQ

**3-8. 個人暴露量分布の推定** 以上の推定値を経て、最終的に個人曝露量の分布を次式によって推定した。結果を Fig. 10 に示す。結果は曝露量に対する累積度数分布として表示した。

個人暴露量

$$\begin{aligned}
 &= \text{水産品摂取量} \times (\text{輸入魚濃度}_{\text{全国}} \\
 &\quad \times \text{輸入魚割合}_{\text{全国}} + \text{遠洋魚濃度}_{\text{全国}} \\
 &\quad \times \text{遠洋魚割合}_{\text{全国}} + \text{沖合魚濃度}_{\text{全国}} \\
 &\quad \times \text{沖合魚割合}_{\text{全国}} + \sum_{\text{県}} \text{沿岸魚濃度}_{\text{県}} \\
 &\quad \times (\text{沿岸魚} + \text{養殖魚}) \text{割合}_{\text{県}}
 \end{aligned}$$

個人暴露推計量をトータルダイエツト調査の実測値データと比較した。Figure 10 中の括弧の前の数字は暴露量の平均値で、括弧の中はそれぞれ 5 パーセントイル値と 95 パーセントイル値を示す。Figure 10 中、あみかけの線は暴露量推計値で、実線はトータルダイエツト調査結果の累積度数分布である。その他、図中線は、BCF を用いず、観測濃度から直接曝露量分布を推定した結果であるが、詳細は省略する。

これらの検討の結果、環境汚染側の指標である地域毎に異なる水域濃度と、全国の魚介類摂取を通じた曝露量分布の関連性が、一定の精度を持って可能なことが示された。このことは、今後、環境汚染要因と、魚介類を経由した曝露量の間をより明

確な形で解析する可能性を示すものと考えられた。

REFERENCES

- 1) Suzuki N., Murasawa K., Sakurai T., Nansai K., Matsushashi K., Moriguchi Y., Tanabe K., Nakasugi O., Morita M., *Environ. Sci. Technol.*, **38**, 5682-5693 (2004).
- 2) Feijtel T., Boeije G., Matthies M., Young A., Morris G., Gandolfi C., Hansen B., Fox K., Holt M., Koch V., Schroder R., Cassani G., Schowanek D., Rosenblom J., Niessen H., *Chemosphere*, **34**, 2351-2373 (1997).
- 3) Mackay D., "The Fugacity Approach," 2nd ed., Lewis Publisher, 2001.
- 4) Suzuki N., Murasawa K., Matsushashi K., Nansai K., Sakurai T., Moriguchi Y., Tanabe K., Nakasugi O., *Kankyo Kagaku*, **15**, 385-395 (2005).
- 5) Schowanek D., Schröder R., Holt M., GREAT-ER: GIS Assisted Model for Environmental Risk Assessment and Management of Chemicals in River Basins. (<http://www.great-er.org/pages/home.cfm>), 2004.
- 6) USEPA: BASINS 3.1: Better Assessment Science Integrating Point & Nonpoint Sources. (<http://www.epa.gov/OST/BASINS/>), 2001.
- 7) PRTR Information in Ministry of the Environment, Japan. (<http://www.prtr-info.jp/>)

- 
- prtrinfo/), 2004.
- 8) Center for Environmental Information Center, (<http://www.prtr-net.jp/>), 2004.
- 9) Suzuki N., Murasawa K., Nansai K., Sakurai T., Moriguchi Y., Tanabe K., Nakasugi O., Morita M., *Research Report from the National Institute for Environmental Studies, Japan*, R-179 (CD)-2003, 2003.
- 10) Suzuki N., Li M., Sakurai T., Moriguchi Y., Tanabe K., Shiraishi H., Morita M., *Proc. 14th Ann. Meeting of Japan Society of Environmental Chemistry*, 2005, pp. 172-173.