

One Box 型 Multimedia Model を用いた淀川流域での鉛の挙動評価 Evaluate the behavior of Pb by One Box Multimedia Model in Yodo basin

○山本 恵 (大阪大学)

加賀 昭和 (大阪大学)

近藤 明 (大阪大学)

井上 義雄 (大阪大学)

Megumi YAMAMOTO*¹ Akikazu KAGA*¹ Akira KONDO*¹ Yoshio INOUE*¹

*¹ Osaka University

In this study, a One Box Multimedia Model for Pb to assess the environmental risk was constructed and applied in Biwa lake and Yodo river basin. The calculated value was compared with the measured values. The amount of Pb emissions was estimated using PRTR data. The historical Pb emission to the atmosphere was estimated. It was found that the Multimedia Model can predict Pb concentration in the atmosphere, solid, water, and also sediment within the factor of 50. The discrepancy between the calculated and measured values may be attributed to the underestimation of the amount of Pb emission.

1. はじめに

近年、我々人間の産業活動に伴い、様々な有害化学物質が環境中に排出されている。このような化学物質の環境濃度を推定し、人の健康や生態系へのリスク評価をすることが求められている。濃度推定の際にモデルシミュレーションを行うが、有機物を対象としたもののみで、金属のモデルはほとんど作られていない。

PRTR 制度の対象となる第一種化学物質に登録されている金属のうち鉛は比較的環境基準超過事例が多く、2003 年欧州で RoHS の採決により全面的に使用禁止にされたこと等から環境中鉛のリスクに対する懸念が高いとされる。

鉛は紀元前から使用された金属であり、融点が低く加工しやすいため、歴史的にはんだや活字、鉛管など産業界で幅広い用途を持ち続けている。現在では自動車用の蓄電池や化学薬品がその主な用途となっている。

その一方で有害性の歴史も古く、日本においては明治時代から鉛によるヒト健康影響が問題になっている。鉛のヒトに対する有害性は、貧血、脳症、関節炎、筋力低下などがある。日本では 1923 年に、母親が化粧に使用した鉛白を含んだ白粉を、授乳の際になめた乳幼児が急性鉛脳症で死亡し、1935 年に含鉛白粉の使用が禁止された。

20 世紀に入り、有鉛ガソリンの使用により鉛粒子が排ガスとともに大量に大気中に排出された。しかし、「牛込柳町鉛中毒事件」が直接の原因となり、有鉛ガソリンの使用が規制された。これを含め現在では、労働環境の改善などにより、高濃度の鉛暴露による脳症や貧血は稀になったが、一方で低濃度長期暴露による不顕性のヒト健康影響に関心が集まっている。

以上を踏まえて、本研究では、現在一般環境中に存在する鉛の有害性を評価するため、琵琶湖・淀川流域で鉛の One Box 型 Multimedia Model を構築し、濃度計算を行った。

2. 鉛排出量の推定方法

2.1 PRTR 届出内排出量の推定方法

PRTR(Pollutant Release and Transfer Register)とは、「化学物質排出移動量届出制度」であり、有害性のある多種多様な物質がどのような排出源から、どのくらい環境中に排出されたか、あるいは廃棄物に含まれて事業所外に運び出されたかを集計し公表する仕組みである。

本研究で構築したマルチメディアモデルの計算対象領域は、琵琶湖・淀川流域とした。琵琶湖・淀川流域は、日本第 2 の工業都市圏を含み、有害化学物質による人の健康への悪影響が懸念されている。

まず、PRTR 届出内排出量の推計フローを Fig.1 に示す。推定に用いた PRTR データは平成 19 年のもので、

1) 平成 19 年 4 月から翌 20 年 3 月までの 1 年間における、全国の事業所からの排出量(届出排出量)

2) 平成 19 年 4 月から翌 20 年 3 月までの 1 年間における、届出対象にならなかった事業所や家庭、自動車等の移動体などからの国が推計した排出量(届出外排出量)を集計したものである。

届出内排出量による対象領域内の排出量の推定は、この平成 19 年 PRTR データに含まれる各事業所の排出量と住所を使用した。東京大学の相良が構築した CSV アドレスマッチングサービス¹⁾を用いて、各事業所の住所データと排出量データを GIS(地理情報システム)のポイントデータに変換した。その後、Arc GIS ver.9 の空間検索機能

を用いて、琵琶湖・淀川流域に存在するポイントデータだけを絞り込んだ。琵琶湖・淀川流域に属する、鉛排出の届出を行った事業所のポイントデータを Fig.2 に示す。

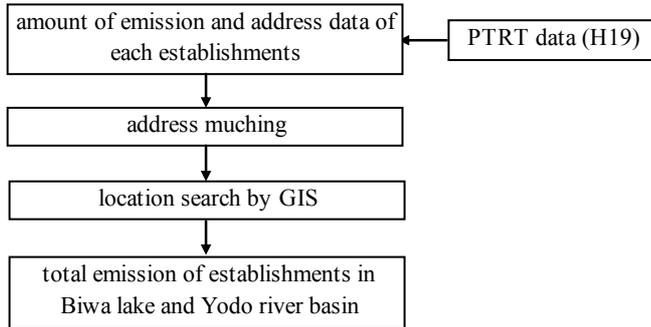


Fig.1 Procedure of estimating amount of emission using notified PRTR data

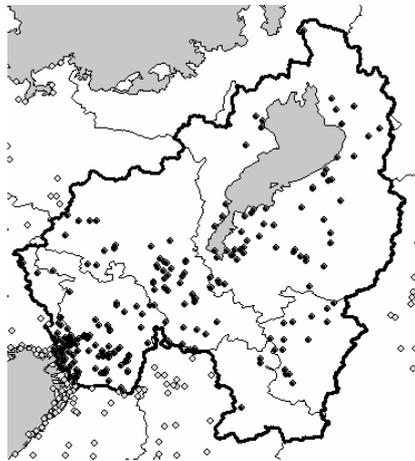


Fig.2 Establishments emitting Pb in Biwa lake and Yodo river basin

Fig.2 から鉛の排出届出を行った事業所は、対象領域内の広範囲にわたって立地しているが、やはり淀川下流域に多く存在していることが明らかになった。

以上の流れで推定した結果を Table1 に示す。

Table1 Reported emission in Biwa lake and Yodo river basin

	atomosphere	water	soil
reported emission	399.0	2062.3	0.0

(kg/year)

2.2 PRTR 届出外排出量の推定方法

届出外排出量推計方法は、PRTR データに掲載されているものを参考にした。届出外排出量による排出量の推定の推計フローを Fig.3 に示す²⁾。これに沿って届出外排出量の推定を行った。

Fig.3 において、「大気」にかかる割合は、「大気」、「土壌」、「埋め立て」の3媒体である。

下水道普及率は面積ベースのものを用いた。PRTR ホームページで公開されている式とデータを基に、対象領域

に含まれている県(滋賀, 三重, 京都, 大阪, 兵庫, 奈良), それぞれで届出事業所外排出量を推定した。さらにこの

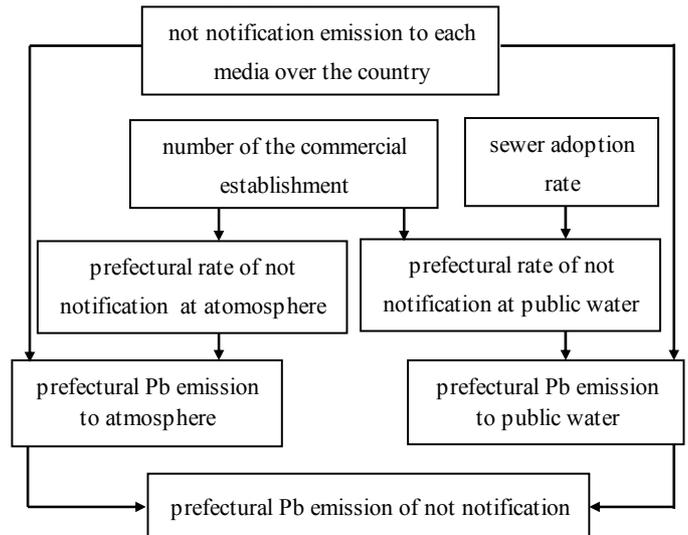


Fig.3 Procedure of estimating amount of emission using not notified PRTR data²⁾

値を流域内排出量に換算する際に、届出内排出量割合を使った。届出内排出量割合とは、都道府県別届出内排出量に対する都道府県別流域内排出量のことである。「大気」等へのすそ切り以下排出量は、全て大気に排出されていると仮定した。届出外事業所からの排出量推定結果を Table2 に示す。

Table2 Estimated emissions except for reported in Biwa lake and Yodo river basin

	atomosphere	water	soil
eissions except for reported	930.0	3.0	0.0

(kg/year)

Table2 の結果から分かるように、水域への排出量は、届出内排出量の 1000 分の 1 程度しかなかったが、大気への排出量は届出内排出量の約 2.5 倍となり、すそ切り以下の推定の重要性が明らかになった。

2.3 有鉛ガソリン使用による排出量推定方法

環境中への鉛の排出量のうち、大気への排出については他のメディアへの排出量に比べて多くの情報がある。有鉛ガソリン車の使用により 1975 年にレギュラーガソリンが無鉛化されるまでは、大量に排出され、それが土壌に沈降していたと考えられる。

そこで、1975 年までガソリンから鉛が排出されていたとし、有鉛ガソリン使用による排出量を 1969 年から 1974 年の間で推計を行った。使用したガソリンに含まれていた鉛は全て大気中に排出されたとする、排出量は式(1)で求められる。

鉛の排出量[t/year]

=ガソリン使用量[kl]×密度[g/cm³]×鉛含有量[%] …(1)
 ガソリンの密度は一般に 0.783g/cm³(=t/m³)³⁾であり、鉛含有量は 0.1(容積%)⁴⁾とした。また、全国の排出量から対象領域内の排出量を推定するときは、2000年における人口比率(全国の人口に対する流域内の人口(8%)を用いた。

2.4 一般廃棄物処理場からの排出量推定方法

一般廃棄物処理場において、焼却された鉛の大部分は焼却灰として捕集され、最終的には埋め立てられるが、その一部は焼却によって揮散し、大気中に排出されると考えられる。現行の PRTR 法では完全には把握できていないと考えられた、鉛の廃棄段階における環境中への排出量、つまり一般廃棄物の焼却による排出量を推定した。

産業技術総合研究所では、鉛のリスク評価に取り組んできており、2006年に詳細リスク評価書シリーズ「鉛」を出版している。ここに記載されている「一般廃棄物処理場からの推定排出量」に、2000年人口比を用いて、流域内排出量を推定した。

2.5 その他の排出源からの推定

その他の排出源として、埋立地からの溶出、低含有率物質の使用による排出(石炭火力発電所からの排出)、塗料に係る排出を推定した。2003年度の推定値⁶⁾に、2000年人口割合をかけたものを流域内排出量とした。埋立地からの浸出水中鉛濃度がおよそ 44μg/L⁶⁾であることから、埋立地からの溶出はイオンとして河川に流出しているとして、埋立地の推定面積×降雨量を流出水量として、流出量を推定した。石炭火力発電所からは大気と水域へ粒子として、塗料からは水域と土壤に粒子として排出されているとした。推定結果を Table3 に示す。

Table3 Pb emission from other source

	atomosphere	water(particle)	water(ion)	solid
disporsal site	0	0	0.24	0
generating power plant	0.06	0.02	0	0
paint	0	4	0	4

(t/year)

3. マルチメディアモデル

3.1 モデルの構造

本研究で構築したモデルでは以下の過程を置いた。

1) 実環境は大気、水域、土壤、底質の4つの主要なメディアで構成されており、また、水域は液相、浮遊粒子相(SS)、交換性イオンから成り、土壤、底質は液相、交換性イオン、粒子相から成る。

2) 大気においては風の移流による対象領域外からの化学物質の流入、又は対象領域外への流出がある。

3) 鉛は、2で推定した排出量結果に基づいて、各媒

体に排出される。

4) 大気粒子は重力および降雨の影響により水域と土壤へ沈降する。

5) 土壌水と土壌粒子の河川への流出がある。

6) 土壌、水域、底質に関しては、粒子相から液相への金属化学物質の溶出と粒子相-液相間の陽イオン交換平衡がある。

7) 降雨流出などによって、水域に流入した土壌粒子はSSとして浮遊する。

8) 降水は降雨強度一定の降水日が、3日間ごとに1日、定期的に繰り返されるとし、晴れの日と降雨日の移動量を平均したが、毎日繰り返される。

9) 河川水から底質水への拡散輸送がある。

3.2 モデルの基礎式

モデルの定式化にあたり、変数を設定する必要がある。本モデルでは、各メディア中の計算対象物質の総量を M [mol] とおき、以下に示す7つの変数を設定した。① M_{pt} [mol]: 大気粒子相における総量、② M_{slpt} [mol]: 土壌粒子相における総量、③ M_{sllq} [mol]: 土壌液相+粒子相中交換性陽イオンの総量、④ M_{wpt} [mol]: 水域粒子相における総量、⑤ M_{wllq} [mol]: 水域液相+粒子相中交換性陽イオンの総量、⑥ M_{sdpt} [mol]: 底質粒子相における総量、⑦ M_{sdllq} [mol]: 底質液相+粒子相中交換性陽イオンの総量である。

マルチメディアモデルは前節の仮定によって成り立っている。この仮定を基に化学物質の循環過程を定式化した基礎方程式を式(1)に示す。基礎方程式はメディア間の平衡フラックス、化学物質の排出フラックス、移流フラックス、沈降・流出フラックスから成り立っている。移流フラックスは流入と流出の差、平衡フラックスと沈降・流出フラックスは隣り合う各メディア間との総和で表している。

$$\frac{dM_i}{dt} = \sum_{j=1}^{MN} f_{eq_ij} + f_{emi_i} + f_{fl_i} + \sum_{j=1}^{MN} f_{dprs_ij} \quad \dots(1)$$

i, j : メディアの識別文字

MN : メディアの総数

M_i : メディア i 中の化学物質質量 (mol)

f_{eq} : メディア間の平衡による物質移動フラックス (mol/s)

f_{emi} : 化学物質の排出フラックス (mol/s)

f_{fl} : 移流フラックス (mol/s)

f_{dprs} : 沈降・流出フラックス (mol/s)

4. 計算結果と考察

4.1 実測値との比較

One Box 型マルチメディアモデルを用いて、琵琶湖・淀川流域における各メディア中の鉛濃度を計算し、計算値と実測値^{5)~8)}を比較した。大気、水域、土壤に関して、

計算値と実測値を比較した結果を Fig.4 に示す。

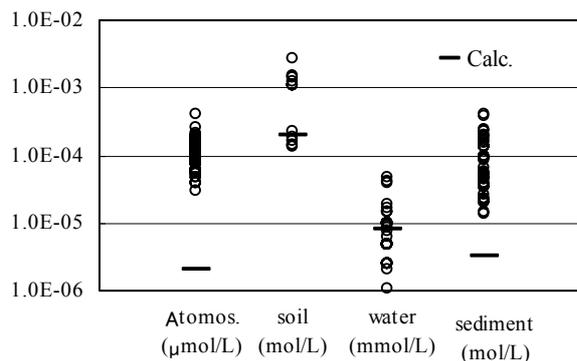


Fig.4 Comparison between calculation result and measurement data

比較結果をみると、大気と底質では実測値よりも小さくなり、土壌と水域は実測値内に収まる結果となった。土壌>底質>水域>大気の順に分布している傾向は再現できた。

また各メディアでの鉛濃度の経年変化を Fig.5 に示す。大気中濃度は、2段階で小さくなった。これは1975年に有鉛ガソリン使用による排出がなくなったことと、90年代からの排出規制の強化により、大気への排出が減少すると推定した結果による。土壌では1975年まで増え続け、大気からの沈着量の減少によりほぼ横ばいになった。水域では1975年に大気からの沈着が減ったため一度小さくなりその後横ばいとなった。底質は、現在においても少しずつだが増え続ける結果となった。

有鉛ガソリンの規制がされた1975年の大気濃度の比較を行い、その結果を Table5 に示す。比較結果を見ると1975年の値はオーダーレベルで一致する結果となった。

Table5 Concentration of the atmosphere in 1975

concentration	calculation	measurement	reference
atmosphere[ng/m ³]	280	379	6)

4.2 考察

計算値が実測値よりも小さくとなった原因としては、One Box 型マルチメディアモデルでは、排出密度の高い淀川下流域と排出密度の低い地域の濃度が均一の値で計算されていることが考えられる。さらに実測値も淀川下流域の比較的高い値の出るところのものが多かったため、このような差が生じたと考えられる。また排出量についても、1975年は排出量のほとんどが有鉛ガソリンの使用によるものであり、ほぼ全排出量の推定ができたと考えられるが、現在についてはPRTR データに加えて有鉛ガソリンの使用や一般廃棄物処理場からの排出を加えて考えたが、なお補足しきれていない排出源が存在する可能性も考えられる。

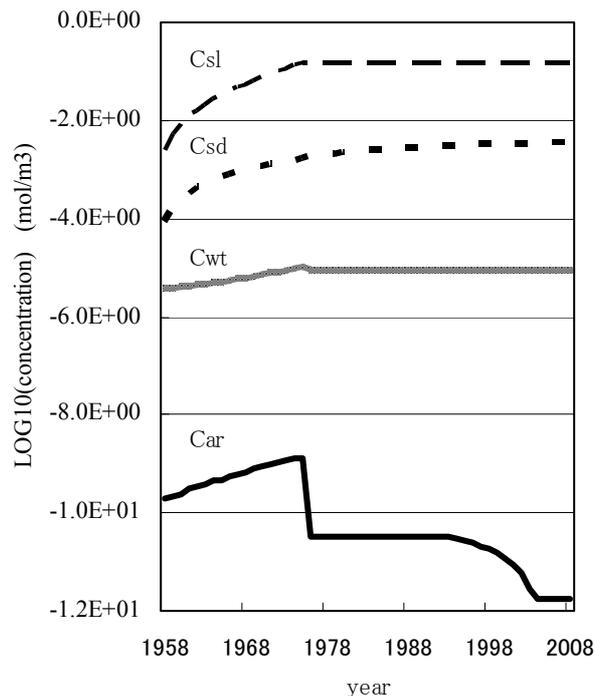


Fig.5 secular change of Pb concentration

5. まとめ

排出量を推定する際に、PRTR データを使用したが、それだけでは過去にすでに排出されてしまった分の把握ができないので、今回は有鉛ガソリンの使用による排出量などの推定により、PRTR データの補足を行った。

本研究で構築したマルチメディアモデルを琵琶湖・淀川流域で用いて計算を行った結果、土壌>底質>水域>大気の順に分布する傾向は再現できた。計算結果が小さくなった原因として、排出量の過小評価や排出密度の空間分布を表現できないことが考えられる。

参考文献

- 1) 東京大学生産技術研究所 附属 戦略情報融合国際研究センター 喜連川研究室: CSV アドレスマッチングサービス <http://www.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp/~sagara/geocode/>
- 2) 環境省ホームページ PRTR インフォメーション広場 http://www.env.go.jp/chemi/prtr/result/todokedegai_siryu.html
- 3) 新日本石油株式会社: バイオガソリン(バイオ ETBE 配合)の製造方法について
- 4) 秋田穰: オクタン価, p.194
- 5) 大阪府 平成 17 年度浮遊状粒子物質調査結果報告書 http://www.epcc.pref.osaka.jp/center_etc/spm/h17/pdf/3_1.pdf
- 6) 大阪府 関係機関による測定結果(平成 19 年度) http://www.epcc.pref.osaka.jp/center_etc/water/dokuji/index2.html
- 7) 中西準子・小林憲弘・内藤航: 詳細リスク評価書シリーズ 9
- 8) Nyein Nyein Aung: 首都圏在住小児の鉛曝露アセスメント