

れば、現在のところ食料中鉛含有量は減少しているが (Fig. 4)、中国の今後の急速な経済成長によっては増加に転じる可能性も否定できない。それはつまり、我が国を含む周辺国の食の安全も脅かされるということである。従って、東アジアにおける環境と食事における鉛濃度のモニタリングを長期間行っていくことが必要である。

我々が2008年11月にハノイ市内で行った大気中鉛濃度の測定では、日平均値が 100ng m^{-3} を超えていた。これは現在の日本や韓国で見られる値より明らかに高い。モデルによるハノイの児童の血中鉛濃度は $25.9\ \mu\text{g L}^{-1}$ 、Pr100 の計算値は1%未満であり、これは北京での調査で報告されている値より小さい。2004年から2006年に北京で6歳以下の児童を対象に行われた調査では血中濃度が $45.1\ \mu\text{g L}^{-1}$ 、Pr100 は7.95%と報告されている (Zhang et al., 2009)。しかしながらモデルによる Pr50 値は7.5%であり、これは先進国の調査に見られる値より明らかに高い。2004年から2005年にかけて静岡で15歳以下の児童を対象に実施された調査結果 (Nakanishi et al., 2007) から統計的に推定した値は0.34%である ($n=290$, $\text{GM}=14\ \mu\text{g L}^{-1}$, $\text{GSD}=1.6$)。また2003年から2006年にかけてのドイツでの3歳から14歳の児童を対象にした調査結果 (Becker et al., 2008) からも、0.85%という値が得られる ($n=1560$, $\text{GM}=16.3\ \mu\text{g L}^{-1}$, $\text{GSD}=1.6$)。ベトナムでは2001年に有鉛ガソリンが禁止されているが (ADB, 2003)、本研究の結果はベトナムでの小児血中濃度を大きく減少させるには有鉛ガソリン規制を厳格に行う必要があることを示唆するものである。近年の研究によれば、中国の環境中鉛の削減が困難

であるのは、石炭消費量が増大しているのが主な原因であると考えられている (Okuda et al., 2008; Liang et al., 2010)。本研究でのベトナムからの大気への鉛排出の推定量はほとんどがガソリン起源である (Table. 1)。逆に言えば、今後、有鉛ガソリン使用の禁止を徹底できれば、環境中鉛の大幅な削減が可能であることを意味している。ベトナムのヒト血中鉛濃度は、特に児童を対象に今後も調査を行っていく必要があると考えている。

ヒト体内動態モデルにおける入力値の不確実性により、モデル結果が影響を受けることがある。各区画内の鉛総量の初期値は、シミュレーションの対象期間以前の曝露レベルを反映している必要がある。表皮骨は鉛排出の時定数が極端に小さいため (Table. 3)、鉛濃度が定常状態に達することがない。曝露レベルが高い状況では表皮骨は鉛の貯蔵庫として機能し、曝露レベルが低い状況になると、血液にとっては鉛の供給源となる。従って、その初期値はモデルの結果に対して、小さいながらも長期間影響を与える。これは特に曝露レベルが大きく減少した後で顕著となる。今回は表皮骨の初期値として Marcus (1985) の値をそのまま使用したが、彼らの使用した検体が受けていた曝露レベルは本研究よりはるかに高い。本研究での日本での2000年代の血中濃度の計算値には若干の過大評価が見られるが (Fig. 5)、これは表皮骨の初期値が大きすぎるものが主な原因であると思われる。

消化管摂取量の推定は食料、飲料水中の鉛含有量の実測値に基づいている。韓国での実測データは日本よりも少ないため (Table. 6)、推定された消化管摂取量の精度は日本より低いと考えられる。韓国の2007年の血中濃

度の計算値に見られる過大評価は、消化管摂取の過大評価が原因であると思われる。

本研究では消化管摂取量はそれぞれの国の中で一様であり、呼吸による摂取量は大気モデルのそれぞれのグリッドボックスの中で一様であると仮定している。しかしながら、世界には多様な人種や民族から成る国があり、そこでは収入、住環境、生活習慣などの社会環境により、人々の曝露リスクもまた一様ではない。米国では人種や民族によって血中鉛濃度に差があることが報告されている (CDC, 2005)。そのような国を対象にリスク評価を行うには、異なる曝露シナリオの下で人種や民族の多様性を考慮する必要がある。

本研究で用いた大気モデルの水平解像度は 1.25 度であるが、これは北緯 35 度では東西でおよそ 114 km に相当する。従って、この大気モデルにより計算された地表面大気中濃度を用いた体内動態モデルでは、局地的に重度に汚染された地域の住民の血中濃度は再現できない。血中濃度の局地的な分布を表現するには、より高解像度の大気モデルを使う必要がある。また、今回ハノイ市における調査で血液を提供してくれたのは 6 歳以上の児童であり、それぞれの年齢の検体数も少ないことは指摘しておかねばならない。さらに研究を進めるためには、6 歳未満の児童の血液を中心に検体数を増やすことが必要である。

E. 結論

本研究では EEM を用いて日本、韓国、中国、ベトナムにおける成人女性の血中鉛濃度の長期トレンドを再現し、食事中鉛に対する過去から現在に

至る曝露評価を行った。我々はこれまでフッ素化合物に EEM を適用してヒト曝露評価を行ってきた (Niisoe et al., 2010b)。EEM は血液と食事中の汚染レベルに関する基本的情報が得られる限りは、他の化学物質や他の地域にも適用できる手法である。本研究で実施したように、化学物質に関する過去のトレンドを再現し、現在のリスクを評価することができる。さらに、曝露シナリオを想定すれば、将来のトレンドやリスクを予測することも可能である。我が国のみならず東アジアの食の安全を確保する上で、EEM の貢献するところ大であると我々は確信するものである。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

Niisoe T., Harada K.H., Hitomi T., Watanabe T., Hung N.N., Ishikawa H., Wang Z., Koizumi A., 2011. Environmental ecological modeling of human blood lead levels in East Asia, Environ. Sci. Technol. in press.

2. 学会発表

新添多聞、原田浩二、人見敏明、渡辺孝男、Hung N.N., 石川裕彦、小泉昭夫、ベトナムハノイ市における小児血中鉛のシミュレーションとリスク評価、第 50 回近畿産業衛生学会、2010 年 11 月 14 日、滋賀県立県民交流センター

H. 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む)

なし

I. 文献

- ADB, 2003. *Cleaner fuels: Policy guidelines for reducing vehicle emissions in Asia*; No. 110502; Asian Development Bank: Manila. www.adb.org/Documents/Guidelines/Vehicle Emissions/cleaner_fuels.pdf.
- Becker K., Müssig-Zufika M., Conrad A., Lüdecke A., Schulz C., Seiwert M., Kolossa-Gehring M., 2008. German environmental survey for children 2003/06 (GerES IV): Human biomonitoring—Levels of selected substances in blood and urine of children in Germany; WaBoLu-Hefte 01/08; Federal Environment Agency: Dessau-Roßlau, Berlin. www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3355.pdf.
- Centers for Disease Control and Prevention, 2005. Blood lead levels—United States, 1999-2002. *MMWR. Morb. Mortal. Wkly. Rep.* 54 (20), 513-516.
- EPA, 1991. *Preventing lead poisoning in young children*; Centers for Disease Control and Prevention: Atlanta.
- EPA, 2005. *Preventing lead poisoning in young children*; Centers for Disease Control and Prevention: Atlanta.
- FEA, 2006. Trends: German Environmental Survey 1998 (GerES III), Health and Environmental Hygiene. www.umweltbundesamt.de/gesundheits-e/survey/vergleich/zvergleich.htm.
- Friberg L., Vahter M., 1983. Assessment of exposure to lead and cadmium through biological monitoring: Results of UNEP/WHO global study. *Environ. Res.* 30, 95-128.
- Gatari M. J., Boman J., Wagner A., Janhäll S., Isakson J., 2006. Assessment of inorganic content of PM_{2.5} particles sampled in a rural area north-east of Hanoi, Vietnam. *Sci. Total Environ.* 368, 675-685.
- GSO, 2009. *Statistical yearbook of Vietnam 2008*, Socialist Republic of Vietnam General Statistics Office: Hanoi.
- Guo R., Jiang X., 2000. Monitoring on blood lead and cadmium in Nanjing inhabitants from 1983 to 1998. *J. Hygiene Res.* 29, 32-33 (in Chinese with English abstract).
- Hien P.D., Binh N.T., Truong Y., Ngo N.T., Sieu L.N., 2001. Comparative receptor modeling study of TSP, PM₂ and PM₂₋₁₀ in Ho Chi Minh City. *Atmos. Environ.* 35, 2669-2678.
- ICRP, 1975. *Report of the Task Group on Reference Man: a report/prepared by a task group of Committee 2 of the International Commission on Radiological Protection*; ICRP publication No.23; Oxford: New York, Pergamon Press.
- IEA, 2009. *Energy statistics of non-OECD countries, 2009 edition*; International Energy Agency: Paris.
- Ikeda M., Watanabe T., Koizumi A., Fujita H., Nakatsuka H., Kasahara M., 1989. Dietary intake of lead among Japanese farmers. *Arch. Environ. Health* 44, 23-29.
- Ikeda M., Zhang Z.-W., Shimbo S., Watanabe T., Nakatsuka H., Moon C.-S., Matsuda-Inoguchi N., Higashikawa K., 2000. Urban population exposure to lead and cadmium in east and south-east Asia. *Sci. Total Environ.* 249, 373-384.

- Ikeda M., Ohashi F., Fukui Y., Sakuragi S., Moriguchi J., 2010. Cadmium, chromium, lead, manganese and nickel concentrations in blood of women in non-polluted areas in Japan, as determined by inductively coupled plasma-sector field-mass spectrometry. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 84 (2), 139-150.
- Ilyin I., Rozovskaya O., Travnikov O., Aas W., 2007. *Heavy metals: Transboundary pollution of the environment*; EMEP/MSC-E Status Report 2/2007; Meteorological Synthesizing Centre – East of EMEP: Moscow, Russia.
- Johnson T.R., Moore W.M., Jeffries J.E., Eds, 1978. *Children are different: Developmental Physiology*; Ross Laboratories: Columbus.
- Kim N.-S., Lee B.-K., 2010. National estimates of blood lead, cadmium, and mercury levels in the Korean general adult population. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 84 (1), 53-63.
- Koizumi A., Harada K., Inoue K., Hitomi T., Yang H.-R., Moon C.-S., Wang P., Hung N.N., Watanabe T., Shimbo S., Ikeda M., 2009. Past, present, and future of environmental specimen banks. *Environ. Health Prev. Med.* 14, 307-318.
- Liang F., Zhang G., Tan M., Yan C., Li X., Li Y., Li Y., Zhang Y., Shan Z., 2010. Lead in children's blood is mainly caused by coal-fired ash after phasing out of leaded gasoline in Shanghai. *Environ. Sci. Technol.* 44, 4760-4765.
- Marcus A.H., 1985. Multicompartment kinetics models for lead, II. Linear kinetics and variable absorption in humans without excessive lead exposure. *Environ. Res.* 36, 459-471.
- Moon C.-S., Zhang Z.-W., Shimbo S., Watanabe T., Moon D.-H., Lee C.-U., Lee B.-K., Ahn K.-D., Lee S.-H., Ikeda M., 1995. Dietary intake of cadmium and lead among the general population in Korea. *Environ. Res.* 71, 46-54.
- Moon C.-S., Paik J.-M., Choi C.-S., Kim D.-H., Ikeda M., 2003. Lead and cadmium levels in daily foods, blood and urine in children and their mothers in Korea. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 76, 282-288
- Nakanishi J., Kobayashi N., Naito W., 2007. *Lead: AIST risk assessment document series No.3*; National Institute of Advanced Industrial Science and Technology: Tsukuba.
www.aist-riss.jp/projects/RAD/download01/download01.cgi?Lead_e.
- Niisoe T., Nakamura E., Harada K., Ishikawa H., Hitomi, T., Watanabe T., Wang Z., Koizumi A., 2010a. A global transport model of lead in the atmosphere. *Atmos. Environ.* 44, 1806-1814.
- Niisoe T., Harada K.H., Ishikawa H., Koizumi A., 2010b. Long-term simulation of human exposure to atmospheric perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanoate (PFO) in the Osaka urban area, Japan. *Environ. Sci. Technol.* 44, 7852-7857.
- Nriagu J.O., Pacyna J.M., 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature* 333, 134-139.
- O'Flaherty E.J., 1991.

- Physiologically based models for bone-seeking elements; II. Kinetics of lead disposition in rats. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* **111**, 313-331.
- O'Flaherty E.J., 1993. Physiologically based models for bone-seeking elements; IV. Kinetics of lead disposition in humans. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* **118**, 16-29.
- O'Flaherty E.J., 1995. Physiologically based models for bone-seeking elements; V. Lead absorption and disposition in childhood. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* **131**, 297-308.
- Oh E., Lee E.-I., Lim H., Jang J.-Y., 2006. Human multi-route exposure assessment of lead and cadmium for Korean volunteers. *J. Prev. Med. Pub. Health (Korea)* **39**(1), 53-58 (in Korean with English abstract).
- Okuda T., Katsuno M., Naoi D., Nakao S., Tanaka S., He K., Ma Y., Lei Y., Jia Y., 2008. Trends in hazardous trace metal concentrations in aerosols collected in Beijing, China from 2001 to 2006. *Chemosphere* **72**, 917-924
- Onogi K., Tsutsui J., Koide H., Sakamoto M., Kobayashi S., Hatsushika H., Matsumoto T., Yamazaki N., Kamahori H., Takahashi K., Kadokura S., Wada K., Kato K., Oyama R., Ose T., Mannoji N., Taira R., 2007. The JRA-25 reanalysis. *J. Meteor. Soc. Jpn.* **85**, 369-432.
- Qu J.-B., Xin X.-F., Li S.-X., Ikeda M., 1993. Blood lead and cadmium in a general population in Jinan City, China. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* **65**, S201-S204.
- Ridsky T.I., Schneider J.S., 2003. Lead neurotoxicity in children: basic mechanisms and clinical correlates. *Brain* **126**, 5-19.
- Shimbo S., Zhang Z.-W., Moon C.-S., Watanabe T., Nakatsuka H., Matsuda-Inoguchi N., Higashikawa K., Ikeda M., 2000. Correlation between urine and blood concentrations, and dietary intake of cadmium and lead among women in the general population of Japan. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* **73**, 163-170.
- Son J.-Y., Lee J., Paek D., Lee J.-T., 2009. Blood levels of lead, cadmium, and mercury in the Korean population: Results from the Second Korean National Human Exposure and Bio-monitoring Examination. *Environ. Res.* **109**, 738-744.
- Tsukahara T., Ezaki T., Moriguchi J., Furuki K., Fukui Y., Ukai H., Okamoto S., Sakurai H., Ikeda, M., 2003. No significant effect of iron deficiency on cadmium body burden or kidney dysfunction among women in the general population in Japan. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* **76**, 275-281.
- Wagner A., 2004. Trace elements in fine particles and aquatic biota — A field study in Vietnam. Ph.D. Dissertation, Göteborg University, Göteborg, Sweden.
- Wang C., Huang L., Zhou X, Xu G., Shi Q., 2004. Blood lead levels of both mothers and their newborn infants in the middle part of China. *Int. J. Environ. Health* **207**, 431-436.
- Wang Q., Zhao H.-H., Chen J.-W., Hao Q.-L., Gu K.-D., Zhu Y.-X., Zhou Y.-K., Ye L.-X., 2010. δ -Aminolevulinic acid dehydratase activity, urinary δ -aminolevulinic acid concentration and zinc protoporphyrin level among people

- with low level of lead exposure. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 213, 52-58.
- Wang Y-Y., Sui K.-X., Li H., Ma H.-Y., 2009. The effects of lead exposure on placental NF- κ B expression and the consequences for gestation. *Reprod. Toxicol.* 27, 190-195.
- Watanabe T., Fujita H., Koizumi A., Chiba K., Miyasaka M., Ikeda M., 1985. Baseline level of blood lead concentration among Japanese farmers, *Arch. Environ. Health* 40, 170-176.
- Watanabe T., Cha C.W., Song D.B., Ikeda M., 1987. Pb and Cd levels among Korean populations. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 38, 189-195.
- Watanabe T., Zhang Z.-W., Qu J.-B., Gao W.-P., Jian Z.-K., Shimbo S., Nakatsuka H., Matsuda-Inoguchi N., Higashikawa K., Ikeda M., 2000. Background lead and cadmium exposure of adult women in Xian City and two farming villages in Shaanxi Province, China. *Sci. Total Environ.* 247, 1-13.
- WBMS, 2010. *World metal statistics yearbook 2010*; World Bureau of Metal Statistics: Herts.
- WHO, 2000. *Evaluation of certain food additives and contaminants: Fifty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*; WHO technical report series 896: World Health Organization, Geneva.
- Yu Q., Li H.-W., Tang Z.-A., Liu R.-H., Liu X.-G., 1989. Blood lead and cadmium levels in the middle school teachers of Jinan City, China. *Shandong Gongye Weisheng (Shandong Ind. Health)* 4(39), 24-28 (in Chinese).
- Zhang S.-M., Dai Y.-H., Xie X.-H., Fan Z.-Y., Tan Z.-W., Zhang Y.-F., 2009. Surveillance of childhood blood lead levels in 14 cities of China in 2004-2006. *Biomed. Environ. Sci.* 22, 288-296.
- Zheng X.Q., Ji R.D., 1987. Assessment of lead contamination of the general environment through blood lead levels. *Environ. Monit. Assess.* 9, 169-177.

Location of observations

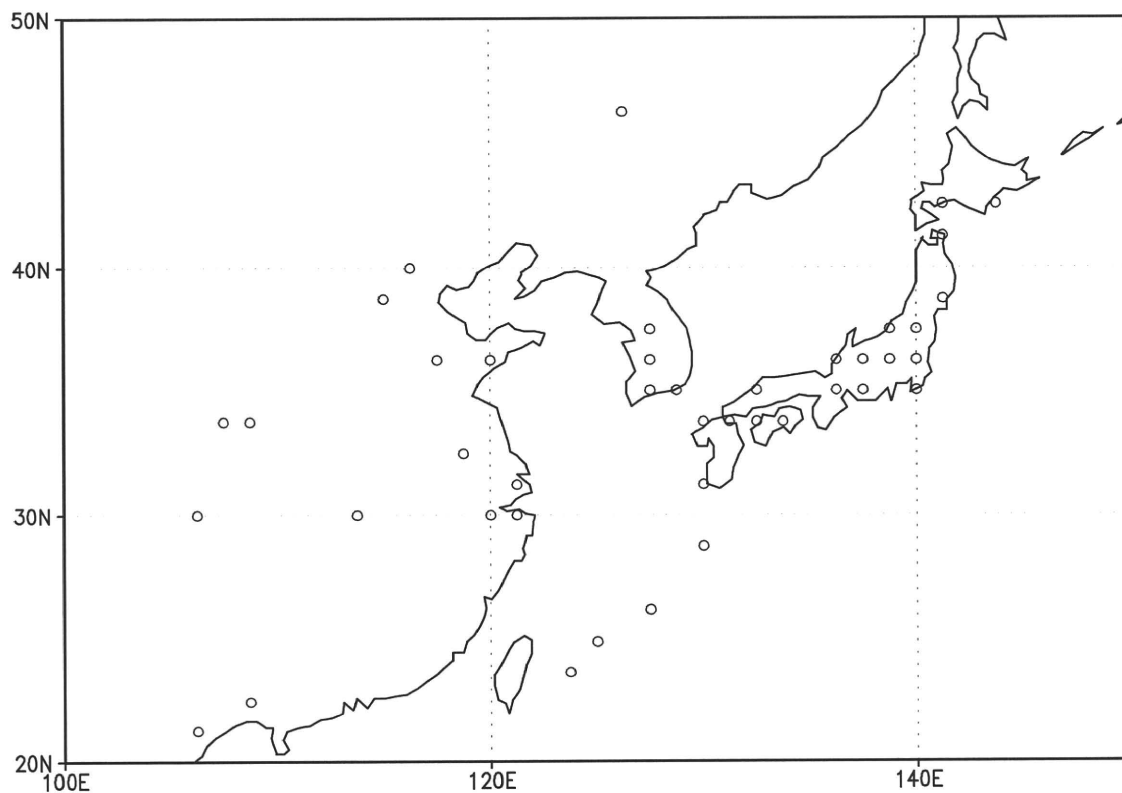


Fig. 1. 血液、食料試料の採取を行った都市に相当する大気モデルのグリッドの位置

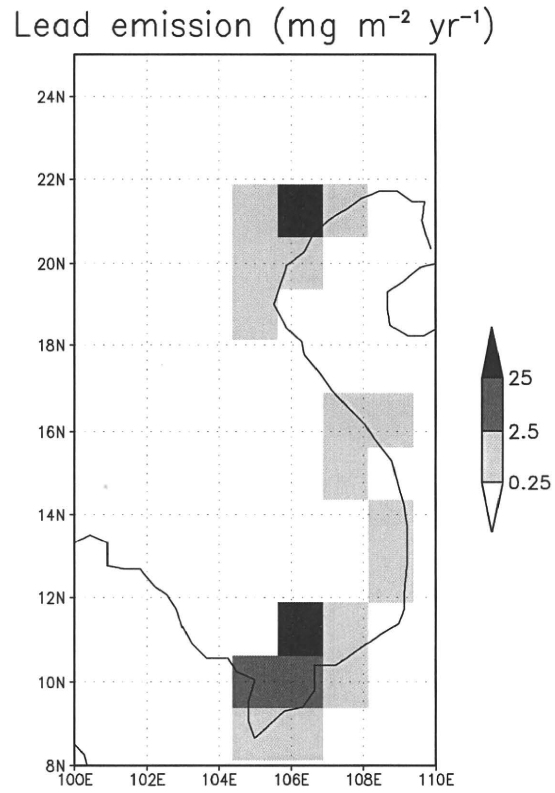


Fig. 2. 燃料消費量、排出係数および経済統計から推定したベトナムにおける鉛排出量の分布

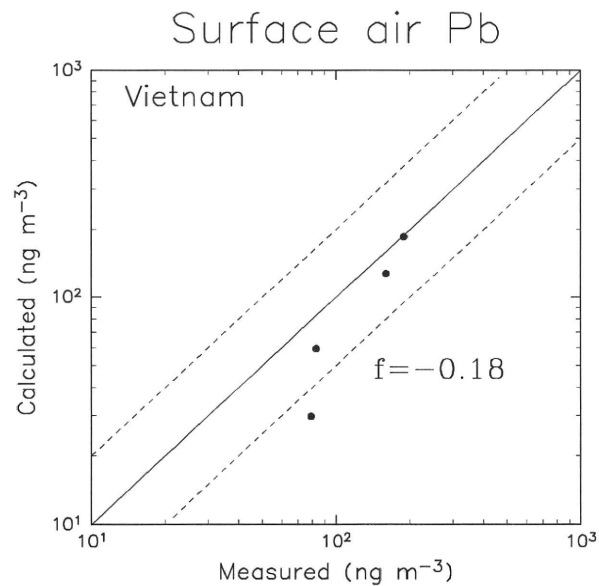


Fig. 3. ベトナムにおける地表面大気中鉛濃度の計算値と実測値との比較。実線は計算値と実測値が一致することを表し、2本の破線の間は誤差が2倍以下であることを表す。f値から概ね良く一致していることが分かる。

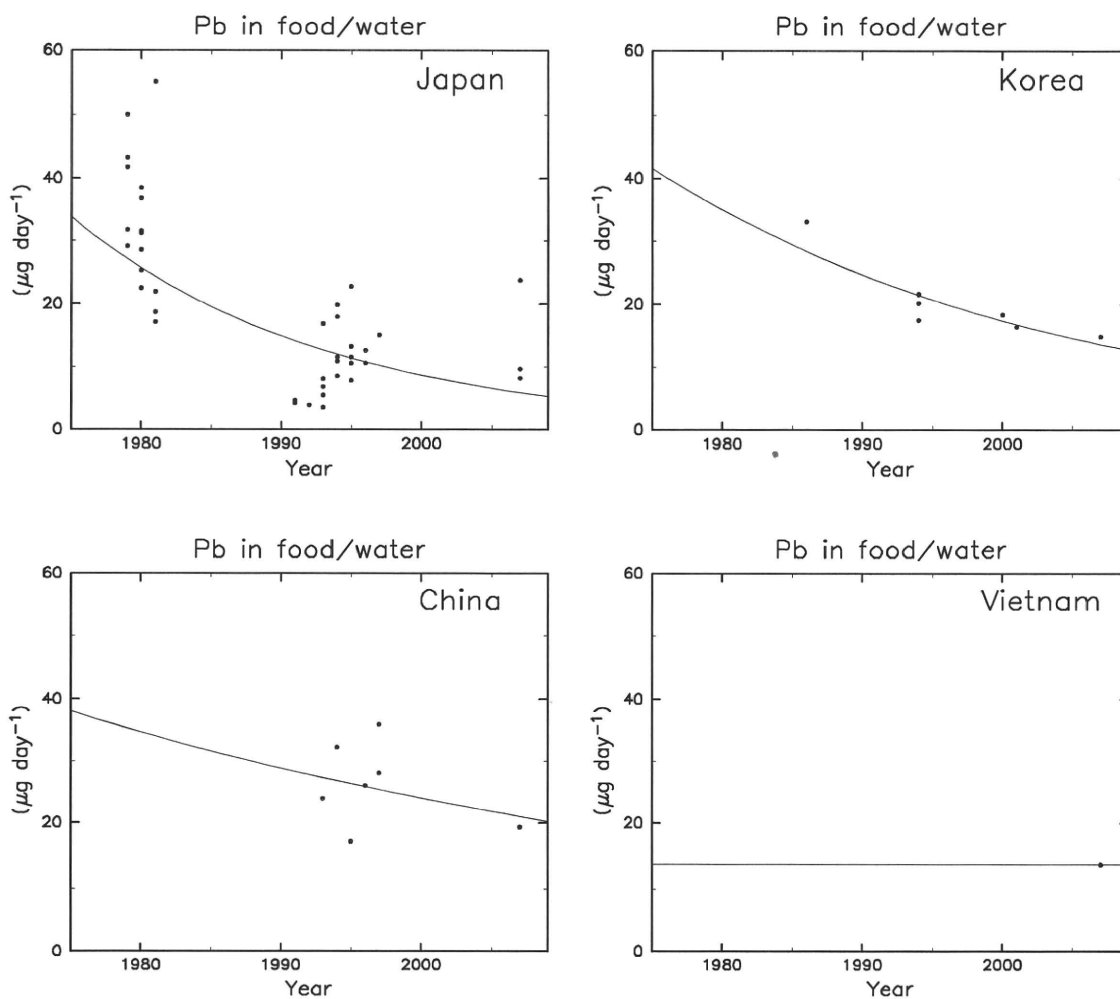
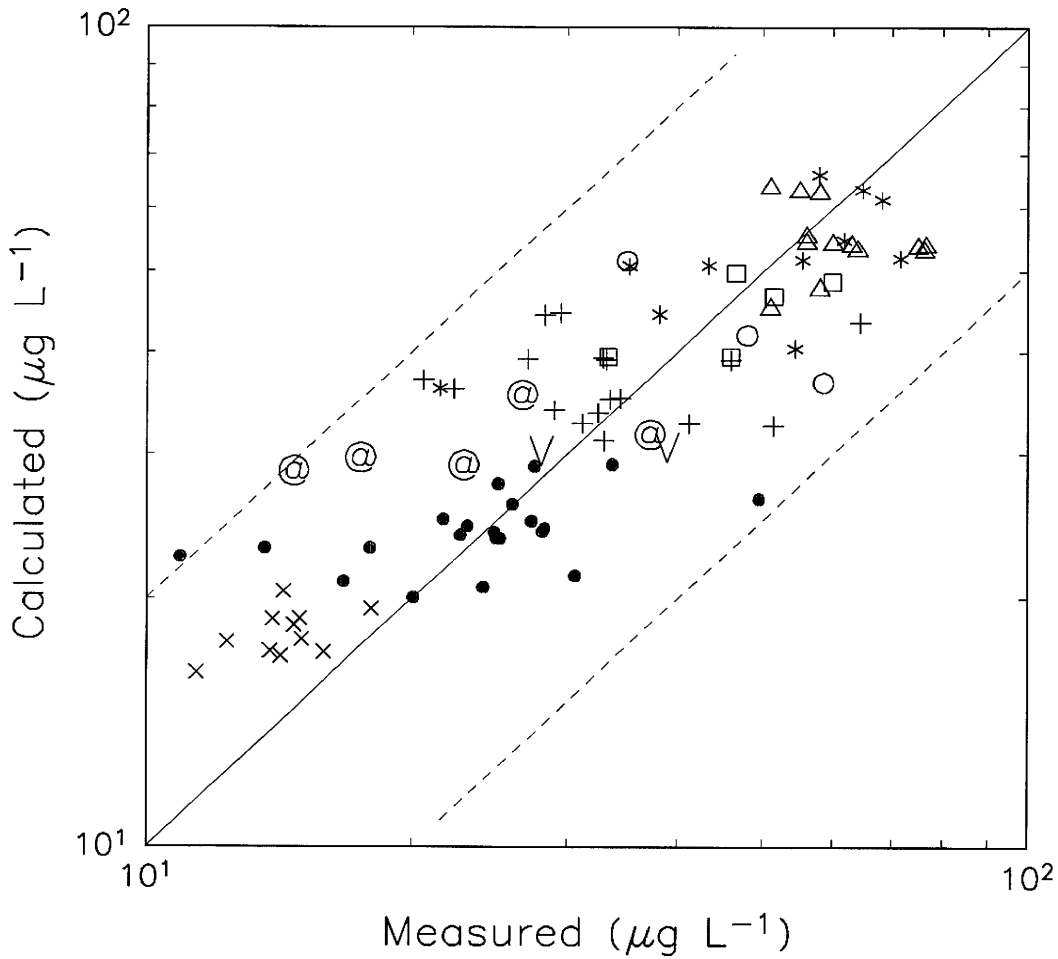


Fig. 4. 日本、韓国、中国、ベトナムにおける食料、飲料水中鉛含有量のトレンド ($\mu\text{g day}^{-1}$)。点は京都大学あるいは文献による実測値を表す。実線は体内動態モデルに用いた、時間の関数としての推定値。

Human Blood Pb



Japan

+ around 1980

● 1990s

× after 2000

Korea

□ before 2000

@ after 2000

China

△ 1980s

* 1990s

○ after 2005

Vietnam

∇ after 2005

Fig. 5. 成人女性の血中鉛濃度の計算値と実測値との比較 ($\mu\text{g L}^{-1}$)。f値が 0.02 と小さいことから、良く一致していることが分かる。実測値は Table 6-9 の通り。

(+) 日本 1980 年頃、(●) 日本 1990 年代、(×) 日本 2000 年以降、(□) 韓国 2000 年以前、(@) 韓国 2000 年以降、(△) 中国 1980 年代、(*) 中国 1990 年代、(○) 中国 2005 年以降、(∇) ベトナム 2005 年以降。

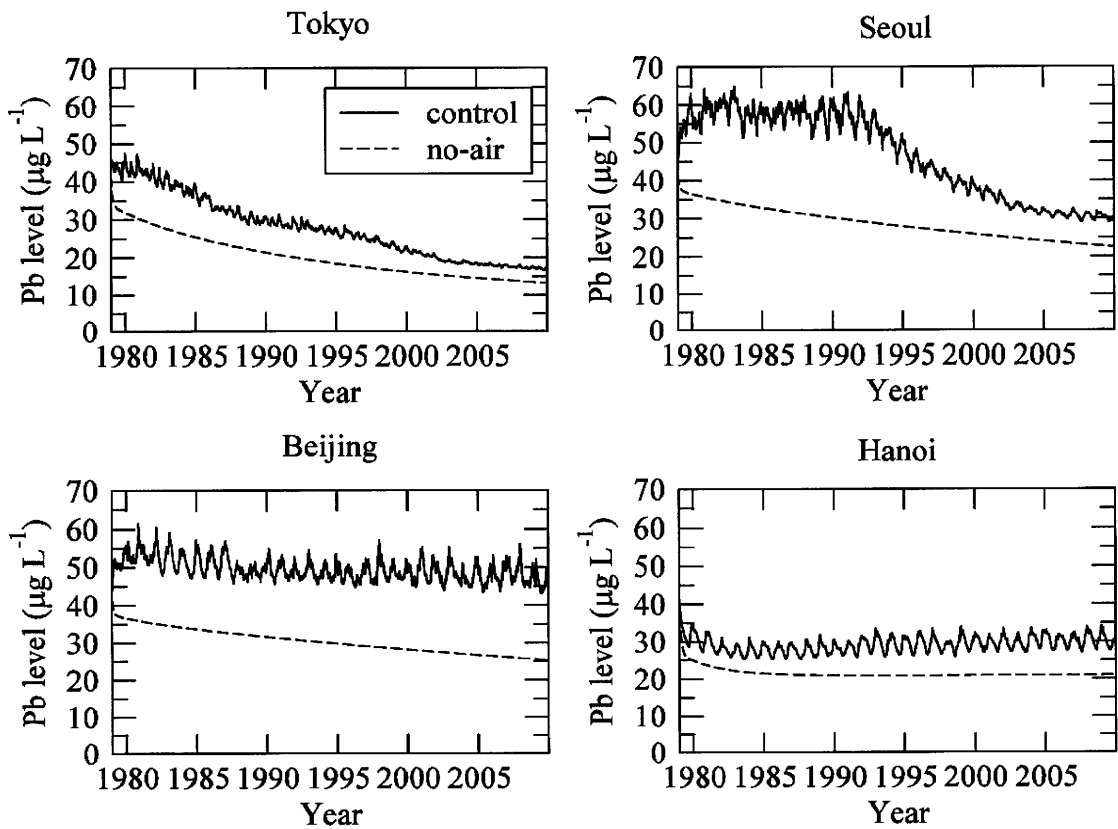


Fig. 6. 東京、ソウル、北京、ハノイにおける成人女性の血中鉛濃度の計算値の1979年から2009年までの推移。破線は呼吸器からの曝露を含まない場合 (no-air) の計算値。

Body weight

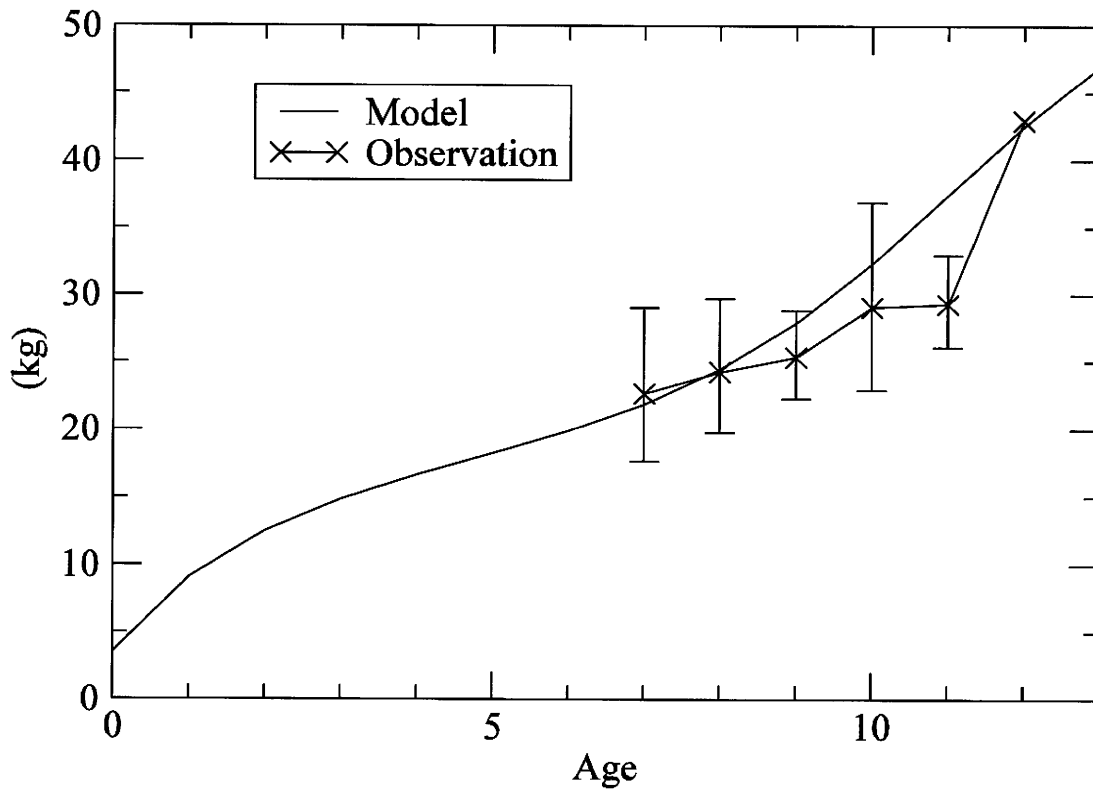
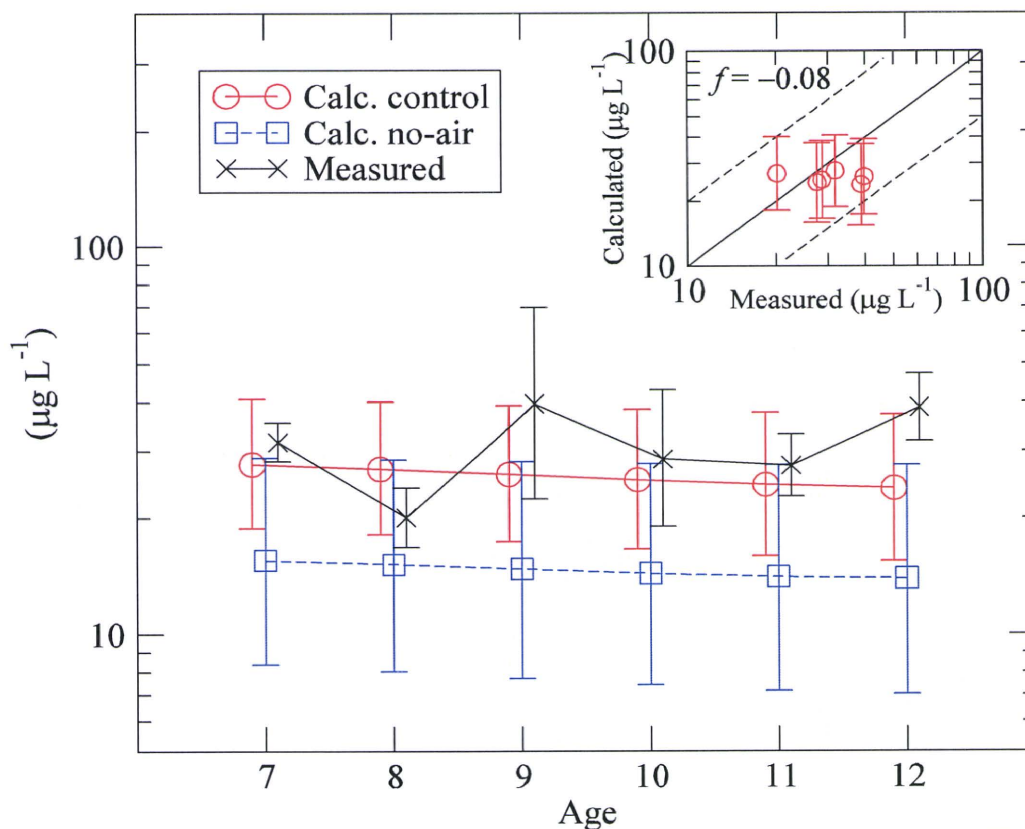


Fig. 7. モデルに用いた年齢の関数としての体重 (kg) と 2009 年ハノイにおける調査に参加した児童の体重の比較 ($R^2=0.82$, $p=0.013$)。測定値は GM と GSD を表す。

(a) Blood lead levels



(b) % of children

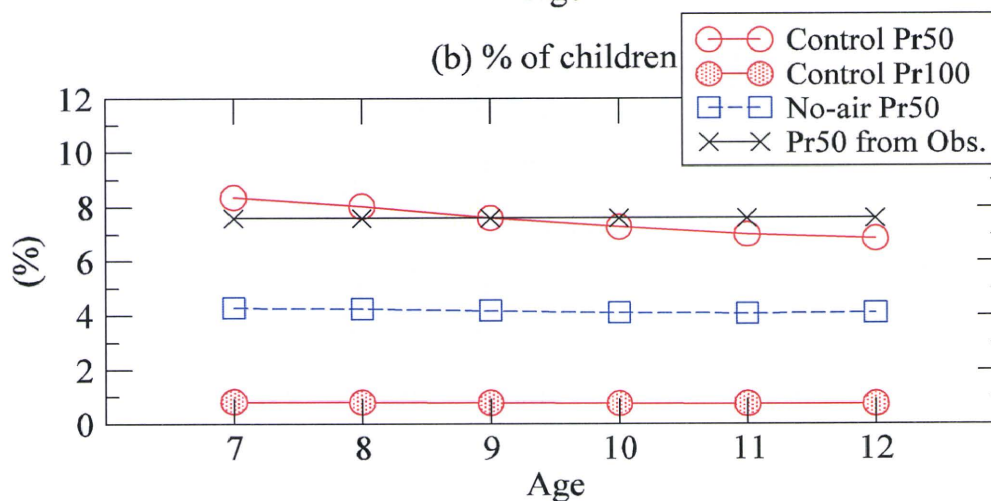


Fig. 8. ハノイにおける7歳から12歳の児童に対する血中鉛濃度のモンテカルロシミュレーションの結果。(a) 血中濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$) のモデルによる最後の一年の平均値 (赤) と2009年の調査における実測値 (黒)。マークとエラーバーはそれぞれGMとGSDを表す。モデルは測定データのGM値を2倍の誤差の範囲で再現できている。計算値と実測値のGMにより求めた f 値も -0.08 と小さい。(b) 血中鉛が $50\mu\text{g L}^{-1}$ を超える確率 (Pr50) と $100\mu\text{g L}^{-1}$ を超える確率 (Pr100)。モデルによるPr50値はすべての年齢の実測データからの推定値(7.6%)と良く一致している。no-air runの結果(青)も図中に示した。

Table 1. ベトナムの燃料使用量および鉛排出量の推定値

| | Coal ^a | | Kerosen ^e | Fuel oil ^b | | Gasoline ^c |
|--|----------------------------|--|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------|--|
| | Indust ry | Electric | | Indust ry | Electric | |
| Consumption ^d (1000 t yr ⁻¹) | 10112 | 6511 | 392 | 7283 | 823 | 3131 |
| Emission factor ^e | 10 (g t ⁻¹) | 600 (μ g MJ ⁻¹) | 6 (g t ⁻¹) | 6 (g t ⁻¹) | 300 (μ g MJ ⁻¹) | 0.4 ^f (g L ⁻¹) |
| Lead emission (t yr ⁻¹) | 101.12 | 103.92 | 2.4 | 43.7 | 10.3 | 1669.9 |

^a1 kg = 26.6 MJ.

^b1 L = 41.87 MJ kg⁻¹.

^c1 L = 0.75 kg.

^dFrom (IEA, 2009).

^eFrom (Nriagu and Pacyna, 1988).

^fAssuming leaded gasoline.

Table 2. ベトナムにおける大気中鉛濃度の観測値

| Region | Site | Year | Time | Matter | Pb (ng m ⁻³) | Refs |
|------------------|-------|----------------------|-----------|--------|--------------------------------|------|
| Hanoi | rural | 2000 | Apr–Oct | PM2.5 | 83 | 1 |
| Hanoi | rural | 2000 | Nov–Dec | PM2.5 | 160 | 2 |
| Hanoi | urban | 2008 | 20–22 Nov | PM10 | 189 | PW |
| Ho Chi Minh City | urban | Aug 1996–May 1998 | annual | PM2 | 79 | 3 |

Refs: 1.Gatari et al. (2006), 2.Wagner (2004), 3.Hien et al. (2001)

PW: Present work.

Table 3. ヒト体内動態モデルにおける時定数 (10⁻³ day⁻¹)

| Pool (from/to) | B/T | B/H | B/CB | B/TB | B/U | T/B | T/S | CB/B | TB/B |
|-------------------|------|-------|------|------|------|-------|------|--------|------|
| | 1.96 | 0.256 | 8.66 | 5.73 | 6.19 | 0.466 | 2.52 | 0.0268 | 1.38 |

B: Blood, T: Tissue, H: Hair, CB: Cortical bone, TB: Trabecular bone,
U: Urine, S: Sweat.

Cited from (Marcus, 1985).

Table 4. 食料・飲料水中鉛含有量の計算式における定数

| | Japan | Korea | China | Vietnam |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------|
| Pb_0 ($\mu\text{g day}^{-1}$) | 27.17 | 36.30 | 35.46 | 13.79 |
| k | -5.43×10^{-2} | -3.48×10^{-2} | -1.86×10^{-2} | 0.0 |

Table 5. 2009年ハノイ市で測定した児童の体重と血中鉛濃度

| Age | n | Body weight | | Blood Pb | |
|-------|----|-------------|------|-----------------------------|------|
| | | GM (kg) | GSD | GM ($\mu\text{g L}^{-1}$) | GSD |
| 7 | 3 | 22.6 | 1.28 | 31.7 | 1.12 |
| 8 | 3 | 24.2 | 1.23 | 20.1 | 1.20 |
| 9 | 4 | 25.3 | 1.14 | 39.6 | 1.76 |
| 10 | 12 | 29.1 | 1.27 | 28.6 | 1.50 |
| 11 | 8 | 29.3 | 1.12 | 27.5 | 1.21 |
| 12 | 3 | 43.0 | * | 38.8 | 1.22 |
| Total | 33 | | | 29.6 | 1.44 |

*Body weight values of two children were not recorded.

Table 6. 韓国における血液と食料中鉛濃度の測定値

| City | Year | n ^a | Job | Pb | | Refs |
|--------|------|-------------------|------------|-------------------|--------------------|------|
| | | | | Food ^b | Blood ^c | |
| Seoul | 1994 | 24 | MH | 17.5 (1.7) | 46.6 (1.2) | 1 |
| Seoul | 2001 | 19 ^d | Teachers | 16.4 (2.3) | 26.7 (1.5) | 2 |
| Seoul | 2007 | 35 | MH | 14.9 (1.8) | 17.5 (1.4) | PW |
| Busan | 1994 | 47 | MH | 21.6 (1.7) | 46.0 (1.3) | 1 |
| Busan | 2000 | 38 | Housewives | 18.4 (1.8) | 37.3 (1.7) | 3 |
| S/Be | 2005 | 997 ^f | NS | N/A | 22.9 (1.0) | 4 |
| S/Be | 2007 | 1546 ^f | NS | N/A | 14.7 (1.0) | 5 |
| Chunan | 1994 | 29 | MH | 21.7 (1.5) | 59.9 (1.3) | 1 |
| Haman | 1994 | 41 | MH | 20.2 (1.7) | 33.4 (1.3) | 1 |
| Yeoju | 1986 | 46 | MH | 33.1 (1.8) | 51.5 (1.3) | 6 |

^aNon-smoking females only.

^bGM in $\mu\text{g day}^{-1}$ with GSD in parentheses.

^cGM in $\mu\text{g L}^{-1}$ with GSD in parentheses.

^dNon-smokers only, gender not stated.

^eNational survey of Korea, assuming average values for Seoul and Busan.

^fFemales only, mainly non-smokers.

MH: mainly housewives.

NS: not stated.

Refs: 1.Moon et al. (1995), 2.Oh et al. (2006), 3.Moon et al. (2003), 4.Kim and Lee (2010), 5.Son et al. (2009), 6.Watanabe et al. (1987)

Table 7. 中国における血液と食料中鉛濃度の測定値

| City | Year | n ^a | Job | Pb | | Ref s |
|-----------|-----------|----------------|------------------|-------------------|--------------------|----------|
| | | | | Food ^b | Blood ^c | |
| Beijing | 1982 | 118 | Teachers | N/A | 56.0 (1.4) | 1 |
| Beijing | 1993 | 50 | Institute staff | 23.9 (2.3) | 43.4 (1.4) | 2 |
| Beijing | 2007 | 25 | MH | 19.4 (1.8) | 35.1 (1.4) | PW |
| Chongqing | 1981–1983 | 68 | Teachers | N/A | 51 (1.6) | 3 |
| Shanghai | 1981–1983 | 87 | Teachers | N/A | 75 (1.5) | 3 |
| Shanghai | 1995 | 50 | Institute staff | 17.2 (1.6) | 55.4 (1.5) | 2 |
| Hangzhou | 1981–1983 | 120 | Teachers | N/A | 60 (1.5) | 3 |
| Nanning | 1994 | 50 | Institute staff | 32.3 (2.0) | 54.4 (1.4) | 2 |
| Jinan | 1981–1983 | 126 | Teachers | N/A | 63 (1.4) | 3 |
| Jinan | 1983 | 110 | Teachers | N/A | 76.6 (1.6) | 4 |
| Jinan | 1985 | 43 | Teachers | N/A | 76.3 (1.6) | 4 |
| Jinan | 1991 | 76 | Hospital workers | N/A | 71.6 (1.4) | 5 |
| Jinan | 1996 | 50 | University staff | 26.0 (1.6) | 35.3 (1.4) | 2 |
| Nanjing | 1983–1984 | 121 | Teachers | N/A | 51.0 (1.7) | 6 |
| Nanjing | 1985–1986 | 60 | Teachers | N/A | 55.0 (1.5) | 6 |
| Nanjing | 1987–1988 | 53 | Teachers | N/A | 58.0 (1.3) | 6 |
| Nanjing | 1992–1993 | 60 | Teachers | N/A | 57.9 (1.3) | 6 |
| Nanjing | 1994–1995 | 63 | Teachers | N/A | 64.8 (1.2) | 6 |
| Nanjing | 1998 | 171 | Teachers | N/A | 68.2 (1.4) | 6 |
| Wuhan | 1997–1999 | 105 | NSd | N/A | 61.8 (1.0) | 7 |
| XiAn | 1981–1983 | 118 | Teachers | N/A | 58 (1.3) | 3 |
| XiAn | 1997 | 50 | MH | 28.1 (1.5) | 38.2 (1.5) | 8 |
| Harbin | 1981–1983 | 127 | Teachers | N/A | 56 (2.9) | 3 |
| Qingdao | 2006 | 67 | NSd | N/A | 48.0 (1.3) | 9 |
| Baoding | 1981–1983 | 102 | Teachers | N/A | 64 (1.6) | 3 |
| Baoji | 1997 | 50 | MH | 36.0 (1.5) | 21.5 (1.4) | 8 |
| Yuyao | 2007 | 218 | Farmers | N/A | 58.6 (1.7) | 10 |

^aNon-smoking females only.

^bGM in $\mu\text{g day}^{-1}$ with GSD in parentheses.

^cGM in $\mu\text{g L}^{-1}$ with GSD in parentheses.

^dFree from occupational exposure.

Refs: 1.Friberg and Vahter (1983), 2.Ikeda et al. (2000), 3.Zheng and Ji (1987), 4.Yu et al. (1989), 5.Qu et al. (1993), 6.Gue and Jiang (2000), 7.Wang et al. (2004), 8.Watanabe et al. (2000), 9.Wang et al. (2009), 10.Wang et al. (2010)

Table 8. ベトナムにおける血液と食料中鉛濃度の測定値

| Year | n ^a | Job | Pb | |
|------|----------------|-----|-------------------|--------------------|
| | | | Food ^b | Blood ^c |
| 2007 | 22 | MH | 13.8 (2.4) | 39.0 (1.3) |
| 2009 | 33 | MH | N/A | 28.0 (1.4) |

^aNon-smoking females only.

^bGM in $\mu\text{g day}^{-1}$ with GSD in parentheses.

^cGM in $\mu\text{g L}^{-1}$ with GSD in parentheses.

Table 9. 大気モデルのグリッドに格納した、日本における血液と食料中鉛濃度の測定値

| Lon | Lat | Year | n ^a | Pb | |
|--------|-------|------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | | | | Food ^b | Blood ^c |
| 130.00 | 33.75 | 1979 | 26 | 31.7 (1.4) | 27.1 (1.4) |
| 136.25 | 36.25 | 1979 | 19 | 41.8 (1.8) | 33.0 (1.4) |
| 137.50 | 36.25 | 1979 | 16 | 50.1 (1.3) | 29.5 (1.4) |
| 138.75 | 37.50 | 1979 | 17 | 43.4 (2.1) | 33.3 (1.5) |
| 140.00 | 37.50 | 1979 | 5 | 29.2 (1.6) | 46.0 (1.7) |
| 127.50 | 26.25 | 1980 | 11 | 28.6 (1.6) | 51.4 (1.7) |
| 130.00 | 28.75 | 1980 | 20 | 25.3 (1.7) | 31.3 (1.3) |
| 130.00 | 31.25 | 1980 | 25 | 22.5 (1.6) | 29.0 (1.6) |
| 132.50 | 35.00 | 1980 | 20 | 31.5 (1.5) | 20.6 (1.6) |
| 133.75 | 33.75 | 1980 | 17 | 36.8 (1.5) | 22.3 (1.6) |
| 138.75 | 36.25 | 1980 | 22 | 31.2 (1.9) | 28.3 (1.4) |
| 141.25 | 38.75 | 1980 | 15 | 25.3 (1.4) | 34.5 (1.4) |
| 141.25 | 42.50 | 1980 | 19 | 38.5 (1.7) | 33.6 (1.6) |
| 125.00 | 25.00 | 1981 | 10 | 17.2 (1.4) | 33.0 (1.3) |
| 130.00 | 31.25 | 1981 | 19 | 18.7 (1.8) | 41.3 (1.3) |
| 140.00 | 36.25 | 1981 | 25 | 55.2 (1.7) | 64.5 (1.5) |
| 141.25 | 38.75 | 1981 | 20 | 22.0 (1.9) | 32.6 (1.6) |
| 131.25 | 33.75 | 1991 | 3/10 ^d | 4.66 (2.9) | 25.1 (1.7) |
| 141.25 | 38.75 | 1991 | 35 | 4.20 (1.5) | 28.1 (1.4) |
| 141.25 | 38.75 | 1992 | 14/31 ^d | 3.89 (1.3) | 24.9 (1.3) |
| 130.00 | 33.75 | 1993 | 16/17 ^d | 8.10 (1.8) | 21.7 (1.3) |
| 133.75 | 33.75 | 1993 | 17/20 ^d | 5.50 (2.5) | 22.7 (1.3) |
| 136.25 | 35.00 | 1993 | 25 | 16.9 (2.3) | 49.5 (1.8) |
| 138.75 | 37.50 | 1993 | 22/24 ^d | 3.50 (3.1) | 27.3 (1.3) |
| 140.00 | 36.25 | 1993 | 44 | 6.83 (2.0) | 33.8 (1.5) |
| 130.00 | 28.75 | 1994 | 23 | 19.9 (1.8) | 16.7 (1.7) |
| 132.50 | 35.00 | 1994 | 28/27 ^d | 11.6 (1.7) | 28.3 (1.4) |
| 136.25 | 35.00 | 1994 | 25 | 8.53 (1.8) | 26.0 (1.3) |
| 137.50 | 36.25 | 1994 | 25 | 10.9 (2.0) | 27.6 (1.4) |
| 140.00 | 37.50 | 1994 | 28/27 ^d | 18.0 (2.7) | 23.1 (1.4) |

Table.9. 続き

| Lon | Lat | Year | n ^a | Pb | |
|--------|-------|------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | | | | Food ^b | Blood ^c |
| 123.75 | 23.75 | 1995 | 23 | 7.83 (1.9) | 20.1 (1.5) |
| 130.00 | 31.25 | 1995 | 28 | 22.8 (1.8) | 30.6 (1.4) |
| 136.25 | 36.25 | 1995 | 24/25 ^d | 11.5 (2.6) | 25.2 (1.4) |
| 137.50 | 35.00 | 1995 | 21 | 13.3 (1.7) | 24.8 (1.3) |
| 143.75 | 42.50 | 1995 | 19 | 10.6 (1.8) | 24.1 (1.3) |
| 132.50 | 33.75 | 1996 | 25 | 10.6 (2.4) | 10.9 (1.8) |
| 136.25 | 36.25 | 1996 | 31/30 ^d | 12.6 (2.0) | 13.6 (2.3) |
| 141.25 | 41.25 | 1997 | 30 | 15.0 (2.2) | 17.9 (2.1) |
| 127.50 | 26.25 | 2002 | 250 ^e | N/A | 15.9 ^f |
| 130.00 | 33.75 | 2002 | 47 ^e | N/A | 13.9 ^f |
| 136.25 | 35.00 | 2002 | 486 ^e | N/A | 18.0 ^f |
| 140.00 | 35.00 | 2002 | 100 ^e | N/A | 14.3 ^f |
| 138.75 | 37.50 | 2002 | 209 ^e | N/A | 14.7 ^f |
| 141.25 | 38.75 | 2002 | 122 ^e | N/A | 15.0 ^f |
| 136.25 | 35.00 | 2007 | 20 | 23.8 (2.0) | 12.4 (1.4) |
| 137.50 | 36.25 | 2007 | 20 | 9.66 (1.3) | 14.9 (1.4) |
| 141.25 | 38.75 | 2007 | 20 | 8.18 (1.9) | 11.4 (1.6) |
| 136.25 | 36.25 | 2008 | 106 ^e | N/A | 14.2 ^f |
| 141.25 | 40.25 | 2008 | 100 ^e | N/A | 13.8 ^f |

^aNon-smoking females only, mainly housewives.

^bGM in $\mu\text{g day}^{-1}$ with GSD in parentheses.

^cGM in $\mu\text{g L}^{-1}$ with GSD in parentheses.

^dFood/Blood.

^eNon-smoking females only, free from occupational exposure.

^fGSD is 1.42–1.60 (Ikeda et al., 2010).

^{Refs}Watanabe et al. (1985), Ikeda et al. (1989), Shimbo et al. (2000), Tsukahara et al. (2003), Ikeda et al. (2010).

厚生労働科学研究費補助金（食品の安心・安全確保推進研究事業）
分担研究報告書

大気輸送モデルを用いた短鎖塩素化パラフィン汚染源の推定

研究代表者 小泉 昭夫 京都大学医学研究科
研究分担者 原田 浩二 京都大学医学研究科
研究協力者 新添 多聞 京都大学医学研究科

研究要旨

本研究では、短鎖塩素化パラフィンの汚染源を推定することを目的に、統計量を基に日本、韓国、中国における大気への排出の強度と分布の推定を行った。その上で、国内の汚染源が卓越する場合と国外の汚染源が卓越する場合の2つのケースについて、推定された値を大気輸送モデルに入力して大気中濃度を計算し、京都市における地表面大気中濃度の変動パターンについて考察を行った。その結果、これら2つのケースにおいて濃度変化を支配する気象条件が大きく異なることが示された。国内の汚染源が卓越する場合はローカルな風の状態が強く影響し、国外の汚染源が卓越する場合は広域スケールにおける風の場の影響が強い。今後の大気中濃度のモニタリングの結果と比較することにより、汚染源を特定するうえで重要な手掛かりとなるものである。

A. 研究目的

短鎖塩素化パラフィン (SCCPs) は水域、土壌、大気へ排出され、食を汚染する。SCCPs による食の汚染状況の実態を把握するためには、汚染源に関する知見が必要となるが、ほとんど明らかになっていない。一般的に水域、土壌の汚染は、その汚染源の周辺に限定されるが、大気中の汚染物質は大気の流れにより拡散されるため、汚染源が影響を与える地域は広範囲に拡大する。従って、国内外を含む広域スケールにおける汚染源を包括的に推定するには、大気に着目することが有効である。本研究では日本、韓国、中国における SCCPs の大気への排出の強度と分布の推定を行う。これを大気輸

送モデルに入力して大気中濃度を計算し、大気モニタリングによる大気中濃度の実測値と比較することにより検証する手法を開発中である。SCCPs の大気中濃度の実測データは、アジアでは現在のところ皆無に等しい。今後我々自身の手で観測を行い、検証を進める必要がある。今回は国内外の汚染源の相対的な強度を検討するために、以下の2つのケースについて大気輸送モデルによる計算を行った。

- 日本国内の汚染源が卓越する場合
- 日本国外の汚染源が卓越する場合

これらの結果から、京都市において予想される大気中濃度の変動パター