

残留性有機汚染物質（POPs）によるアジア途上国の ヒト母乳汚染と乳児のリスク評価

田辺 信介
愛媛大学

スライド1

ご紹介をいただきありがとうございます。
本日は我々の最新の研究である「残留性有機汚染物質（POPs）によるアジア途上国のヒト母乳汚染と乳児のリスク評価」についてお話しします。

スライド2：背景1

最初に、この研究の背景について少しお話します。ご存じのように、ポリ塩化ジベンゾ-p-ダイオキシン類、ジベンゾフラン類、PCB 類、有機塩素系殺虫剤など代表的な残留性有機汚染物質（POPs）は、脂溶性で安定な化学物質です。これらは、広範な環境媒体や多様な生物種から検出されており、ヒトや野生生物に対する毒性リスクが大きな社会問題になっています。先進国では、最近の 20~30 年で POPs 汚染に関する多くの報告がなされ、環境の残留レベルは明らかに低下しつつあります。しかし途上国では、これら汚染物質、特にダイオキシン類とその類縁物質による汚染情報は、先進国に比べてはるかに少ない状況です。

スライド3：カンボジアのゴミ集積場

これは、カンボジアのプノンペンにある都市ゴミ集積場の光景です。

スライド4：インドのゴミ集積場

これはインドのゴミ集積場の光景です。途上国の都市郊外には、このような都市ゴミ集積場が遍在しています。プラスチック、金属、紙、木材、生ゴミなど様々な種類のゴミが、広大な土地に集積されています。

スライド5：ゴミの焼却

この地域での大きな問題は、メタンガス発生のためにゴミが低温で燃焼し、ダイオキシン類が生成しています。

スライド6：スラム

これらの地域におけるもう一つの問題は、こうした汚染によるヒトへの曝露と毒性影響です。貧困層の人々がゴミ集積場の近くにスラムを形成し、有価物や再利用可能な物品をこの地域で拾い集め、ご覧のように、それらを自分の家屋に利用したり放置しています。

スライド7：ゴミ拾い人

この人たちは、生活の大半をこの地域で過ごすために、ダイオキシン類を始めとする多様な有害物質に曝露しており、したがってこうした化学物質のリスクは高いと思われます。

スライド8：背景2

このスライドに示されているように、アジアの途上国における都市ゴミ集積場は、様々な種類のゴミが毎日大量に廃棄され、それが自然発火や意図的焼却によって低温で燃え続けているため、ダイオキシン類やその類縁物質の二次生成の場になっていると考えられます。またこれらの集積場には、疫病等の問題が

あるため、公衆衛生目的で有機塩素系殺虫剤が使用されています。したがって、集積場の中に有害物質の汚染源が存在し、その近辺の住民がそうした汚染物質に曝露していることが予想されます。

スライド 9: 目的

こうした背景に基づき、我々は次のような目的で研究を展開しました。アジアの途上国の都市ゴミ集積場および対照地域において、ヒトの母乳を採集し、それに含まれる PCDD 類、PCDF 類、PCB 類、有機塩素系殺虫剤を分析することにより、以下のことについて解明を試みました。

- 1) アジアの途上国におけるヒトの母乳汚染の現状を明らかにする。
- 2) 乳児の曝露リスクを評価する。
- 3) ダイオキシン類による授乳期母親の甲状腺ホルモンとビタミン A への影響を評価する。

スライド 10 : サンプルの採集

この研究に用いたヒトの母乳サンプルは、インド、カンボジア、ベトナム、フィリピンの都市ゴミ集積場住民から、1999 年～2001 年の期間に採集しました。インド、カンボジア、ベトナムでは、ゴミ集積場から 5 km 以上離れた対照地域でもサンプルを採集しました。さらに、上記の対象者の一部からは血清サンプルも採集し、甲状腺ホルモンとビタミン A の分析も試みました。母乳と血液サンプルの採集は、あらかじめ提供者からインフォームド・コンセントを得て実施しました。

スライド 11 : OC 類

本研究で分析した POPs は、このスライドに示した、PCDD、PCDF、PCB、DDT、HCH、クロルデン、および HCB です。

スライド 12 : ダイオキシン類とその類縁物質

本研究の第 1 の目的である汚染実態の解明についてお話しします。この図は、インド、カンボジア、ベトナム、フィリピンのゴミ集積場近辺の住民から採集したヒト母乳における、PCDD 類、PCDF 類、ノンオルソ体 PCB 類、モノオルソ体 PCB 類といったダイオキシンおよびその類縁物質の平均濃度と、その TEQ 値を示したものです。ダイオキシンとその類縁物質は、供試したヒト母乳のすべてのサンプルから検出されました。これらの物質のうち、どの国においてもモノオルソ体 PCBs がもっとも高濃度で検出され、それに続き、PCDDs、ノンオルソ体 PCBs、PCDFs の順でした。興味深いのは、インドでは、すべてのダイオキシン類の TEQ 値が、カンボジア、ベトナム、フィリピンよりも高かったことです。

スライド 13 : 集積場地域と対照地域の比較 - ダイオキシン類

これらの図は、インド、カンボジア、ベトナムのゴミ集積場地域と対照地域で採集したヒト母乳に含まれるダイオキシンとその類縁物質の濃度の平均と範囲を示したものです。X 軸はダイオキシンとその類縁物質の濃度を、Y 軸はインド、カンボジア、ベトナムのゴミ集積場地域 (D) および対照地域 (C) を表しています。インドでは、ゴミ集積場地域で採集したヒト母乳のダイオキシン類の平均濃度および TEQ 値が、対照地域から採取されたものよりも高値でした。この結果から、インドのゴミ集積場にはダイオキシンとその類縁物質によるヒト汚染の曝露源があると推察されます。一方、カンボジアとベトナムのゴミ集積場地域で採集したヒト母乳のダイオキシン類濃度は、対照地域の値と同等でした。

スライド 14 : PCB 類と殺虫剤

PCBs、および DDTs、HCHs、クロルデン、HCB などの有機塩素系殺虫剤についても、供試した母乳サンプルから検出されました。カンボジア、ベトナム、フィリピンでは、もっとも高濃度に検出されたのは DDTs (青) であり、その次は PCBs でした。特に、ベトナムのヒト母乳から検出された DDTs (青) は、その他の国に比べて著しく高い値でした。HCHs、クロルデン、HCB の濃度は、DDTs および PCBs に比べてずっと低い値でした。しかし、グラフの赤い棒で示したインドの母乳から検出された HCHs は、その

他の国よりも明らかに高い値でした。インドの母乳に HCHs が、ベトナムの母乳に DDTs が高濃度で検出されたことは、食品や様々な野生生物でこれまで報告されてきた結果と一致します。これらの国々では、HCH や DDT が依然として使用されている疑いがあります。

スライド 15 : ゴミ集積場地域と対照地域 OC 類

ゴミ集積場地域および対照地域で採集したヒト母乳の PCBs および有機塩素系殺虫剤の平均濃度と範囲を比較しました。カンボジアとベトナムでは、ヒト母乳中のこれらの化学物質の濃度は、ゴミ集積場地域と対照地域で有意な差は認められませんでした。しかしインドでは、ゴミ集積場地域の PCBs とクロルデンの濃度が対照地域に比べ有意に高くなっており、このことから、インドでは PCBs とクロルデンの顕著な汚染源がゴミ集積場に存在しており、近辺の住民がそれら汚染物質に曝露しているものと考えられます。おそらく、インドのゴミ集積場の PCB 汚染源は、変圧器やコンデンサーといった PCB を含む電気機器の廃棄物である可能性が高いと考えられます。このゴミ集積場では、害虫駆除のためにクロルデンも使用されてきたものと推定されます。

スライド 16 : ウシの餌

また、インドのゴミ集積場近辺の住民は、ウシの乳を飲用することでこうした汚染物質に曝露し、影響を受けている可能性があります。ご覧のように、水牛と家牛はゴミ集積場内で生ゴミ等をあさり、食しています。

スライド 17 : ウシの餌

さらに、ゴミ集積場で生ゴミを食しているウシは、毎日夕方になると牛舎に帰り、このように搾乳されます。その牛乳はこの近辺の住民に消費されたり、市場に出回ったりします。ゴミ集積場に由来する有機塩素系毒性物質が、牛乳を介して近辺の住民に曝露し、蓄積していることは、次のスライドでご覧いただけます。

スライド 18 : インドの牛乳に含まれる有機塩素系物質

インドのゴミ集積場で採取した牛乳のダイオキシン類、PCBs、クロルデンの濃度は対照地域よりも明らかに高いことが判りました。以上の結果に基づき、ゴミ集積場地域の住民は、牛乳を介して、ダイオキシン類、PCBs、クロルデンに曝露していると結論づけることができます。その他の途上国のゴミ集積場でも、そこで家畜が生ゴミを食し、住民がその家畜を利用し畜産物を食糧としている場合には、同様の状況が起きていることが予想されます。

スライド 19 : 世界の比較 TEQ 値と PCB 類

アジアの途上国で採集したヒト母乳の有機塩素系物質汚染の現状を理解するために、本研究で測定したこれら物質の濃度を、1990 年代にその他の国々で報告された値と比較してみました。この 2 つの図は、ヒト母乳中のダイオキシン類と PCBs の濃度を国際的に比較したものです。総体的には、途上国のダイオキシン類の残留濃度は先進国よりも低い値ですが、インドのゴミ集積場地域で採集したヒト母乳のダイオキシン類濃度は、その他の途上国の一般人より高く、先進国のヒト汚染に匹敵する値になっています。現在までのところ、ダイオキシン問題は先進国における大きな課題であるとされ、途上国では、ベトナムにおける枯葉剤の散布や、台湾の油症といった戦争や事故の事例を除けば、ダイオキシン汚染やダイオキシン問題は存在しないと考えられてきました。しかし、私が今回指摘しましたように、途上国では都市ゴミ集積場がダイオキシンの大きな放出源になっている可能性があります。一方、右の図に示されているように、アジアの途上国におけるヒト母乳中の PCB 類の濃度は、先進国および旧社会主義国よりも低い値です。

スライド 20 : 世界の比較 DDT 類と HCH 類

この 2 つの図は、DDTs と HCHs の残留濃度について、途上国および旧社会主義国の値と先進国の値を比較したものです。ご覧のように、有機塩素系殺虫剤によるヒト母乳の汚染濃度は、先進国に比べて途上国および旧社会主義国の方がずっと高い値になっています。

スライド 21 : 年齢と子どもの数 TEQ 値と DDT 類

ヒト母乳の有機塩素化合物の濃度は、その女性の年齢、子どもの数、授乳期間などの様々な要因で変化することが、これまでの研究で報告されています。そこで、我々は本研究において比較的高濃度で検出された有機塩素化合物の濃度と、女性の年齢および子どもの数との関連性を調べてみました。左の 2 つの図は、女性の年齢に伴うダイオキシン類と DDTs の濃度の変化を表したものです。ご覧のように、女性の年齢との間に有意な相関は見られませんでした。この理由として、授乳する女性の子どもの数が考えられました。そこで、これら汚染物質の濃度と子どもの数との関連性を調べたのが、右の 2 つの図です。ご覧のように、ヒト母乳中のダイオキシン類と DDTs の濃度は、子どもの数が増えるにつれて減少する傾向にあります。これは、母体内の有機塩素化合物が出産し授乳をくり返すことで顕著に排出され、減少していくことを意味しています。この結果に基づくと、第 1 子は母乳を介して、より高い濃度の有機塩素化合物に曝露しており、これら汚染物質によるリスクが相対的に高くなる可能性があるかと解釈できます。この事実が明らかになったのは途上国においてですが、これがヒトにとっての重大な問題提起であることは先進国でも同じです。すなわちこのことが、次に説明する問題と関連して深刻化する可能性があるため、我々はこの事実に注目したわけです。

スライド 22 : 日本の新聞記事

これは日本経済新聞の 2002 年 6 月の記事です。わが国では、夫婦 1 組あたりの子どもの平均数がわずか 1.33 人になり、少子化傾向にあることを伝えています。こうした傾向は、社会的・経済的理由から人々が少人数家族を望む先進国のほぼすべてで見られるものです。ここで、私が心配する問題が持ち上がってきます。途上国のヒトの母乳を対象にした本研究で私が示した結果に基づけば、第 1 子が汚染物質を大量に摂取し、第 2 子、第 3 子がそれに次ぐこととなります。途上国では、子どもをたくさん持つのが通常ですが、日本のような先進国では、子どもを 1 人しか持たない家族が増えています。先進国では女性の晩婚化がすすむとともに少子化傾向にあります。それに対して、途上国では若年での結婚と多産がごくあたりまえです。

スライド 23 : 出生率の観点から見た将来人口の高度汚染

子どもが多数である途上国の一般人は、将来、POPs 汚染レベルの高い集団が減少していきます。それは、母親が若いうちに結婚することと、第 2 子、第 3 子と続くにつれ授乳を介した POPs 曝露量が少なくなるからです。一方先進国の場合、晩婚の母親から生まれる一人っ子は汚染物質をより大量に受け取ることになります。出生率が低下すればするほど、POPs によるヒトの汚染は相対的に高くなっていきます。この状況は、汚染の少ない、肉体・精神ともに健やかな若い世代が、将来、先進国において減少していくことにつながる可能性があります。今述べた仮説は、出生率に基づいて導き出したものですが、今後の有害物質の曝露量の動向も考慮に入れておく必要があります。先進国の次世代にとって最大の問題となる化学物質は、PCB 類やダイオキシン類などヒトの体内に相対的に高い濃度で存在する POPs と考えられます。

スライド 24 : 1 日あたりの摂取量

途上国の汚染に話を戻しましょう。乳児が母乳から 1 日に摂取するダイオキシン類、HCHs、DDTs の量について説明します。この図の、X 軸は国を、Y 軸は有害物質の 1 日摂取量を表しています。1 日摂取量は、乳児が 1 日に飲むミルクを 700 ml、乳児の体重を 5 kg として算出しました。乳児の 1 日あたりのダイオキシン類摂取量の算出値は、4 つの途上国すべてで、WHO が 1998 年に提示した耐容 1 日摂取量

(TDI) を超えていました。さらに、インドの乳児は HCHs の 1 日摂取量も、1996 年にカナダ保健省 (Health Canada) が推奨した耐容 1 日摂取量 (TDI) を超えていました。

スライド 25 : 甲状腺ホルモン

POPs のリスクを評価する目的で、授乳中の女性の母乳中のダイオキシン濃度と、血清中の甲状腺ホルモンおよびビタミン A の濃度を比べてみました。その結果このスライドに示すように、甲状腺ホルモンとダイオキシン類の濃度の間には有意な相関関係は見られませんでした。すなわち、ダイオキシン類は甲状腺ホルモンに影響を与えていないことを示しています。

スライド 26 : ヒトにおけるビタミン A とダイオキシン類

しかし、インドとカンボジアでは、この図に示したように母乳中のダイオキシン類の TEQ 濃度と、血清中のビタミン A レベルとの間に有意な負の相関が見られました。このことは、ヒトの身体の中でダイオキシン類によってビタミン A の代謝が攪乱されている可能性を示唆しています。

スライド 27 : ビタミン A の代謝

ダイオキシン類によってビタミン A の代謝が促進されると、レチノイン酸などの活性代謝産物が生成される、すなわち代謝産物のバランスが崩れます。実験動物においては、レチノイン酸の増減によって成長の遅滞、皮膚疾患、形態異常の起ることが知られています。

スライド 28 : 奇形 1

ゴミ集積場近辺のスラムに居住する住民において、何例かの奇形と疾患を確認しました。これは、指の奇形の一症例です。

スライド 29 : 奇形 2

これは下肢の奇形の一症例です。

スライド 30 : 奇形 3

また、一部の住民には知的障害も見られました。例えば、この少年の例です。

スライド 31 : 奇形 4

これは下肢と上肢の欠損の一症例です。もちろん、こうした奇形の原因を特定する明白な根拠があるわけではありませんが、ゴミ集積場に残留する有害物質の汚染を、可能性のある原因の一つとして考えなければなりません。途上国のゴミ集積場地域の住民においては、今後疫学的な調査とより詳細な POPs モニタリングが必要です。

スライド 32 : 結論-1

- 1) インド、カンボジア、フィリピンの住民は、PCDDs、PCDFs、PCBs、有機塩素系殺虫剤に曝露していることが判りました。
- 2) インドのゴミ集積場近辺の住民のヒト母乳におけるダイオキシンとその類縁物質の濃度は、対照地域の住民に比べて有意に高く、TEQ 値は先進国の一般人と同等でした。
- 3) インド在住者の HCHs レベルは、その他の途上国および先進国の住民よりも有意に高い濃度を示しました。

1 番目 から 3 番目までの結論は、アジア途上国の住民の母乳が広範囲に POPs で汚染されていることを意味するものです。特に、インドのゴミ集積場近辺の住民は、ダイオキシン類縁物質および有機塩素系殺虫剤に高度に曝露していました。

スライド 33 : 結論-2

- 4) ヒト母乳中の有機塩素化合物の濃度は、子どもの数が多いほど減少する傾向を示しました。
- 5) 調査対象の3つの途上国の乳児が1日あたり摂取する TEQ 算出値、およびインドの乳児が1日あたり摂取する HCHs は、耐容1日摂取量 (TDI) を超えていました。
- 6) ヒト母乳中の TEQ 値と血清中のビタミン A レベルとの間には、有意な負の相関が見られました。

以上、本研究ではゴミ集積場地域の住民の健康に対するダイオキシン類など POPs の汚染との影響が深刻化していることを指摘しました。アジアの途上国のゴミ集積場に対するさらなる研究が必要です。
ご静聴ありがとうございました。

質疑応答

トッパリ：田辺先生、ありがとうございました。では質問をひとつかふたつ受けます。質問も答えも簡潔にお願いします。どうぞ。

質問：年配の親から生まれた子どもは残留性有機汚染物質に高濃度で曝露する傾向がある、つまり、親が体内に汚染物質が蓄積する時間が長いので、それだけ蓄積量が多くなるということを示すデータはありますか。

田辺：実は食事と子ども、親のブレスト・ミルクの濃度との間の関係も我々は調査しましたが、特に例えば魚をたくさん食べているから濃度が高いという傾向は、認められないようでした。

質問：関係は認められなかったということですか。それとも調べていないということですか。

田辺：食習慣と濃度との間に明確な関係は見つけられませんでした。

質問：いえ、そうではなくて、親の年齢と子どもにおける濃度との関係です。

田辺：親の年齢が高いと濃度が高いという傾向は認められました。

質問：ありがとうございました。

トッパリ：もうひとつ質問を受けます。

綿貫：ゴミ焼却場の、インドの場合のダイオキシン

濃度が高いとおっしゃっていますが、食物連鎖から来るのはわかりますが、5kg ぐらいのコントロールで違うことは、1 つはエア・ポリューションから来るのですか。

また、ダイオキシンというのは、焼却をインドなどはやっていて、その周辺が汚染されているのかどうか。

それから、農薬の混雑物としてそのまま出てきているのか。だから、245T をいまだに使っているのかどうかをお尋ねいたします。

田辺：インドでダイオキシンの汚染のソースはまだよくわかっていませんが、おそらくいろいろなソースが考えられると思います。農薬 245T 等も使っていますので、それも 1 つの汚染源かもしれません。

それから、インドでは大規模なゴミを捨てている場所に加えて、小規模なものもたくさんありますので、そういう場所も燃えていますから、やはりダイオキシンができています。そこが小規模なダイオキシンの汚染源になって、それで環境が汚染され、野菜等の食べ物が汚染され、それを人間が食べることで、一般の人にも蓄積していることが考えられると思います。少なくともインドの一般の人は、dumping site 周辺に住んでいる人よりは濃度が低かったことは事実です。やはり dumping site の人は濃度が高かったのです。これは牛のミルクを飲用していることが最大の原因だと思います。

トッパリ：ありがとうございました。残念ですが、これでこの講演に関する討論を終了します。