臭素系難燃剤とリン系難燃剤のリスク比較の予備的検討

Preliminary comparative risk analysis of brominated and phosphorus flame retardants

小谷 健輔，益永 茂樹（横浜国立大学） d09hf009@ynu.ac.jp

背景

化学物質のリスク評価の不確実性

リスクを測る指標として使用するはMOE (Margin of Exposure) は動物実験により得られたNOAELとヒトの推定曝露量の大小を比べる。毒性試験により得られたNOAELは実験設計に依存し，影響の個体差による不確実性を持っている。

代替物質と被代替物質のリスクトレードオフ

ある物質が代替されれば新たに使用される代替物質のリスクが発生する。リスクが懸念されて代替されるならば事前に代替評価を行い，代替後のリスクが下がることを証明することが望ましい。

代替物質と被代替物質のリスクはどうすれば公平に比較できるか？

まとめ

リスクが懸念された化学物質が代替されるならば，トレードオフの構造を公平にした上で代替後のリスクが下がることを定量的に証明することが望ましい。そこで、トレードオフ構造を公平にしたリスク比較解析手法を検討，考察し，その具体例を提示した。本研究では，以下に示されるような化学物質のリスク評価の分野におけるトレードオフ解析の問題点が見つかった。

不確実性の大小が，リスクトレードオフ解析の結果を変える要因になる可能性があることが示唆された。これは不確実性を考慮しなければ間違った結論を導いてしまう可能性があるということである。

本研究の検討に含まれなかった課題

1. トレードオフの枠組みの拡大（食物からの曝露と生態系へのリスクの考慮）
2. モデルの妥当性の検証（既存の消費者曝露の評価モデルはカーテンから直接排出されるダストの曝露を考慮できない）

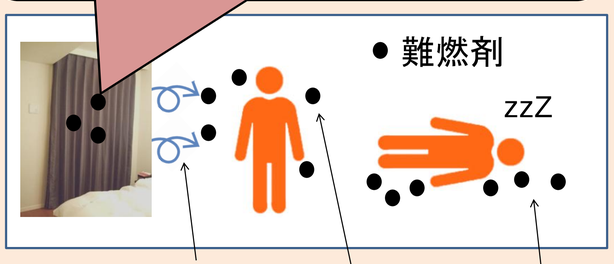
目的～トレードオフの構造を公平にしたリスク比較解析手法の検討と考察～

方法～トレードオフの構造を公平したリスク比較解析手法の検討～

本研究では，断熱材や繊維製品に使用される難燃剤Hexabromocyclododecane (**HBCD**) が以下に挙げる臭素系及びリン系難燃剤に代替されると仮定した場合の代替前後のリスクの比較方法を検討した。対象とした難燃剤はTetrabromobisphenol A (**TBBPA**)，Decabromodiphenylether (**DecaBDE**)，Tricresylphosphate (**TCP**)，Tri-n-butylphosphate (**TBP**)，およびTris(2-chloroethyl)phosphate (**TCEP**) である。

機能単位を揃えた消費者曝露の評価

難燃剤の機能単位を統一
⇒製品含有時にHBCDと同じ難燃性能を発揮するときの含有量予測



難燃剤の放出量予測
室内空気由来の難燃剤の吸入曝露
室内ダスト由来の難燃剤の経口曝露

不確実性を考慮した確率論的有害性評価

影響の種類	難燃剤
内分泌攪乱	HBCD (1), TBBPA, DecaBDE
肝臓重量の増加	HBCD (2), TCP, TBP, TCEP

リスク判定に用いる3段階の有害性評価

1. 既存文献により報告されている上表の影響のNOAEL (BMDL)
2. 1の文献を基に作成した用量反応関係から導出したBMD
3. 用量反応関係の不確実性を評価した2で導出したのBMDの分布 (さらに外挿してヒトのNOAEL分布を作成)

トレードオフ構造を公平にした難燃剤のリスク比較解析

3種類のリスク判定手法の比較

①NOAEL (BMDL) と曝露量の安全幅を推定

$$\mathrm{MOE} = \frac{\mathrm{NOAEL\,(BMDL)}}{\text{曝露量}}$$

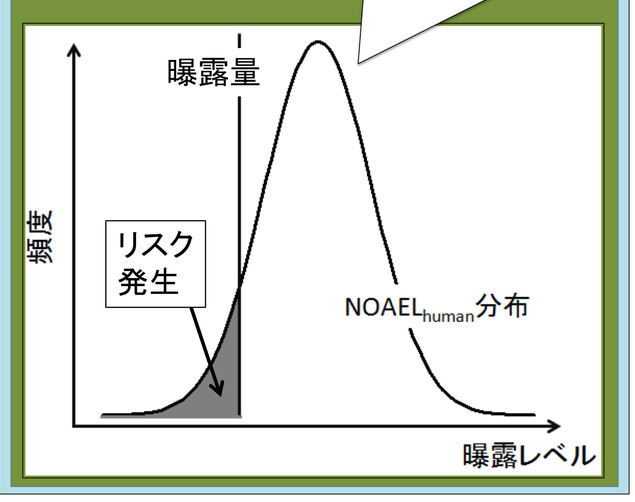
②BMDと曝露量の安全幅を推定

実験設計に依存しないようにするため，各難燃剤の用量反応関係を描き，BMDを推定する。
※BMDLではなくBMDを使用するのは回帰モデルの選択と用量反応関係のデータのばらつきに左右されない値を使用するため。

$$\mathrm{MOE} = \frac{\mathrm{BMD}}{\text{曝露量}}$$

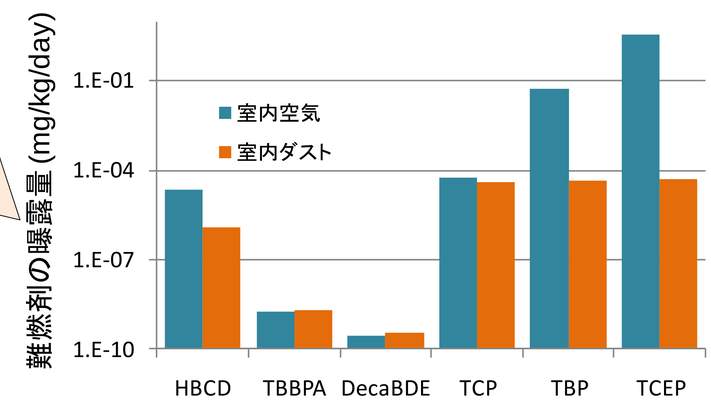
③用量反応関係の不確実性を組み込んだリスク評価

ブートストラップ法を用いて作成したBMDの不確実性分布を外挿してヒトのNOAEL分布を表現する。モンテカルロシミュレーションにより曝露量がNOAELを超える確率をリスクとして判定する。

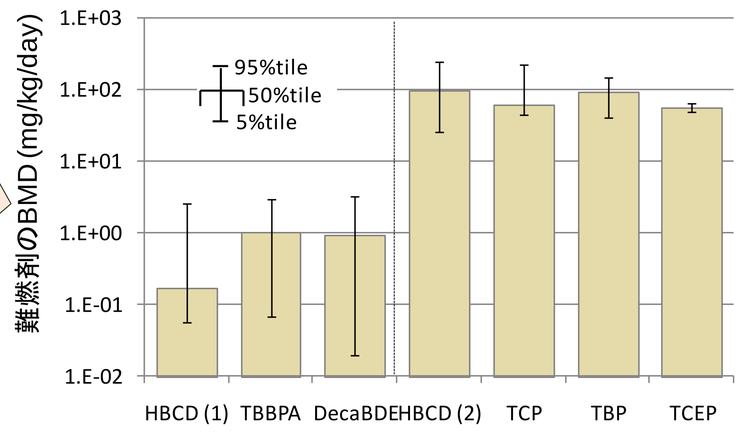


結果～曝露と有害性とリスクの比較～

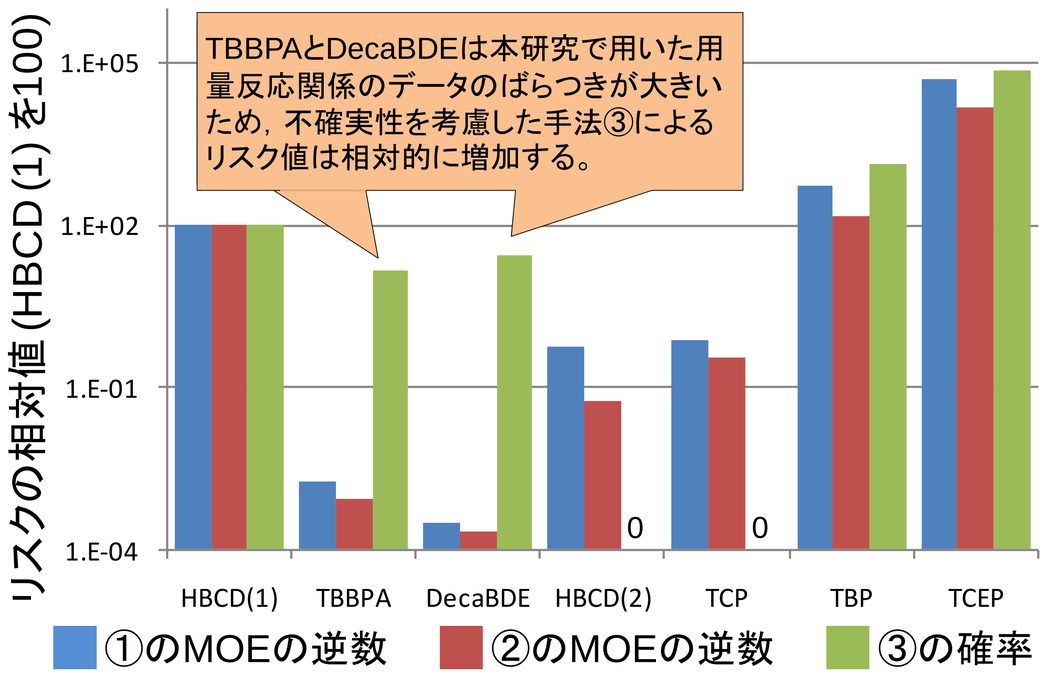
蒸気圧が高いほど室内空気由来の割合が増加する。本研究では室内空気由来の吸入曝露も全量消化管から吸収されると仮定した。(難燃剤はその粒子径から肺胞へ到達しないと仮定，吸入曝露の過大評価は課題)



内分泌攪乱を指標とした用量反応関係は非常に小さな影響を観察しようとしていることから大きな不確実性を持っている。



TBBPAとDecaBDEは本研究で用いた用量反応関係のデータのばらつきが大きいため，不確実性を考慮した手法③によるリスク値は相対的に増加する。



- 手法③によるHBCD (2) とTCPのリスクはモンテカルロシミュレーション1万回の結果，リスクは0であった。
- TCEPのリスクが高いのは他の難燃剤と比べて蒸気圧が非常に高いからである。
- 不確実性を考慮することにより，リスクの相対的順位が変動する。

謝辞 本研究は環境省環境研究総合推進費(C-1003)「HBCD等の製品中残留性化学物質のライフサイクル評価と代替比較に基づく環境リスク低減手法」（代表：益永 茂樹）の一環として行われました。