

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 6 日現在

機関番号：64303

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22710044

研究課題名（和文） 国際条約と気候変動に伴う農薬貿易の変遷と農薬起源 POPs 排出量の分野横断的研究

研究課題名（英文） A cross-disciplinary analysis of the transitions of global pesticides trade and POPs emission modulated by international conventions and climate variability

研究代表者

半藤 逸樹（HANDOH ITSUKI）

総合地球環境学研究所・研究推進戦略センター・特任准教授

研究者番号：40446266

研究成果の概要（和文）：気候モード（エルニーニョ・南方振動と北極振動など）に応答する気候条件や農薬（殺虫剤・殺菌剤）貿易統計について合成図解析を行い、気候変動が国際貿易に与える影響を評価する方法論を確立した。殺虫剤においては、エル・ニーニョ期翌年のオーストラリアの輸入額の減少傾向は 800 万米ドルを超え、エル・ニーニョ/南方振動に応答して殺虫剤の需要が大きく変化するメカニズムを解明した。農薬起源 POPs 排出量・貿易に係る国際条約の効果の検証については、本研究の成果と POPs 動態・生物濃縮予測モデルを融合する統合的環境リスク評価方法の構築が急務である。

研究成果の概要（英文）：A series of composite analyses were performed in order to quantify the response of global pesticides (insecticides and fungicides) trade to climate modes such as the El Niño-Southern Oscillation and the Arctic Oscillation. It was demonstrated that in Australia, the El Niño appears to cause reduced precipitation, then suppressed occurrence of malaria, and in turn decreased local demand for insecticides. Development of an integrated environmental risk analysis framework to synthesize the outcome of this study and dynamic and food-web models of Persistent Organic Pollutants (POPs) will help better understand the relative importance of climate modes versus international regulations such as Stockholm Convention on POPs to variability in the pesticide trades.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学、環境影響評価・環境政策

キーワード：環境経済、気候変動と国際貿易

1. 研究開始当初の背景

現在、世界規模で用いられている農薬（殺虫剤・殺菌剤など）のうち、9 種は残留性有

機汚染物質 (POPs) の規制に関するストックホルム条約指定の 12 化合物を含んでおり、新規に指定された POPs 9 種においても農薬

起源が5種を占める。主要 POPs の一つである Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) はマラリア対策のために限定的な使用が認められており、ロッテルダム条約による貿易規制およびストックホルム条約による使用・製造規制下においても、気候変動により使用量に変化が生じ、農薬貿易と農薬排出量に影響する可能性が十分にある。しかしながら、世界貿易機関 (WTO) と国連環境計画 (UNEP) は国際貿易が気候変動に与える影響について、低炭素化社会を見据えて検討する一方で、気候変動が国際貿易に与える影響を定量的に評価している研究がほとんどないことを認めている。

そこで、申請者は、熱帯域の気候変動 (エル・ニーニョ現象など) と農水産物貿易額・量の経年変動の合成図解析に関する研究成果を応用することで、国際条約による貿易・使用規制と気候変動が DDT の消費量・排出量および農薬貿易の多様性を決定する力学を分野横断的に数理解析することを着想した。さらに、申請者は、POPs 動態予測モデルや生物濃縮モデルの開発を統括し、特に POPs 動態の経年変化の評価と動態予測モデルのバイズ不確実性解析を行っている経緯から、全球気候データと各国の農薬の輸入量・額および消費量の貿易統計データ (FAO, 2009) を解析することで、POPs 排出量の不確実性と広義の環境経済学的影響の評価に貢献できると考えた。

2. 研究の目的

上記の背景を受け、本研究は以下3つの目的に従って実施した。

(1) 気候変動に応答する農薬貿易額と多様性の評価: 気候変動 (エル・ニーニョ/南方振動や北極振動) に応答する FAOSTAT の農薬貿易額・多様性を定量的に評価する。

(2) 農薬起源 POPs 排出量の不確実性解析と環境経済学的影響の評価: (1) の農薬貿易統計と、農薬起源 POPs 排出量データの整合性を再評価し、輸入額と量の変換係数に注目し、排出量のバイズ不確実性解析と環境経済学的影響の評価を行う。

(3) 農薬貿易と農薬起源 POPs 排出量に対する国際条約と気候変動の役割の評価: (1) と (2) より、気候変動に応答する農薬貿易額・量を抜き出し、農薬起源 POPs 排出量に係る国際条約 (ロッテルダム条約とストックホルム条約) と気候変動の役割について、相対評価を行う。

3. 研究の方法

(1) ResourceSTAT の編集: FAOSTAT における世界各国・各品目の統計資料データについて、農薬貿易 (Pesticides Trade) と農薬消費量の (Pesticides Consumption) 統計を編集した。前者は 1961-2008 年、後者は 1991-2008 年の各年の統計を使用した。消費量に相当するものについては、品目が多岐 (45 項目以上) に及ぶため、農薬起源 POPs (特に DDT と hexachlorocyclohexanes (HCHs)) に該当するものに焦点を絞った。

(2) 各種気候モードを表す気候指数の算出と合成図解析: 月別の NCEP-NCAR 気候再解析データを用いて、NINO3.4 と北極振動指数 (AOI) を算出した。前者はエル・ニーニョ/南方振動 (ENSO)、後者は北極振動 (AO) に対応する (注: 南方振動指数 (SOI) と逆位相を示す)。地球温暖化現象については、長期の線形傾向を用いた。

NINO3.4, AOI および農薬の貿易収支額のデータに Butterworth バンドパスフィルターを適応し、1-7 年周期成分のみを取り出した。気候変動指数は、規格化した後、合成図解析によって、気候変動モードに応答する地表気温と降水量および貿易収支額のアノマリを推定した。また、モンテ・カルロ法をこの合成図解析に適応し、統計学的に有意なアノマリを検出した ($p < 0.10$)。

(3) 農薬起源 POPs 排出量の不確実性解析: 動態解析モデルで用いられている POPs 排出量データのなかで、DDTs と HCHs の全球インベントリを解析し、各国の農薬貿易収支額との整合性を評価した。

(4) 国際条約に対応する貿易収支額アノマリの検出: POPs に関する国際条約の採択年を基準に、各国の貿易収支額のアノマリが、バーゼル条約・ロッテルダム条約・ストックホルム条約に支配される程度を定量化した。この際、採択年から貿易統計に変化が起こるまでの遅延 (単位: 年) を検出した。

4. 研究成果

(1) 気候変動に応答する貿易収支額アノマリ: 農薬のなかでも、貿易額アノマリが気候変動に応答するものは、本研究で確認するかぎり、殺菌剤と殺虫剤に限られた。NINO3.4 や AOI に対応する気温・降水量のアノマリは、従来の知見と一致する形に再現できている。図 1 は、合成図解析によって得た、ENSO 年の気温・降水量アノマリ (符号のみ) および、ENSO 翌年の殺菌剤・殺虫剤の貿易額収支アノマリである。

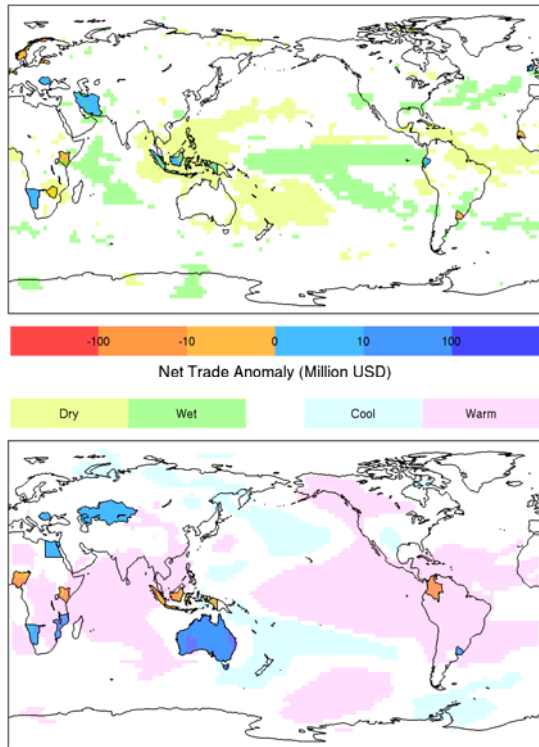


図 1 ENSO に応答する各種アノマリ（気温・降水量は符号のみ）. 上は降水量と殺菌剤, 下は気温と殺虫剤. 殺菌・殺虫剤の貿易収支額アノマリは, ENSO 年の翌年のもの（遅延は 1 年間）. 暖色系（寒色系）の国は赤字（黒字）傾向を示す.

貿易額収支（輸出額と輸入額の差）アノマリが正（負）のときは、貿易収支が黒字（赤字）を示し、この原因は輸入額の減少（増加）か輸出額の増加（減少）である。ENSO 期に少雨傾向になるオーストラリアでは、殺虫剤の貿易収支額が黒字になる傾向が認められたが、殺菌剤については変化はない。地理的に近いインドネシアでは、殺菌剤は黒字、殺虫剤の貿易収支は赤字傾向になる。この合成図解析の結果から、オーストラリアのように、エル・ニーニョ発生→少雨傾向→マラリア発生確率低下→殺虫剤の需要減少→殺虫剤の貿易収支額増加（800 万米ドル以上）という流れを辿ることができる。しかしながら、他の国においては、輸出国側の事情が複雑にからまっている場合があり、その過程を合成図解析で解明することは難しい。北極振動（AO）に目を移してみると、殺虫剤よりも殺菌剤のほうが、貿易収支額のアノマリが目立つ。AO 期の気温アノマリに応答し、北半球において、平均的には黒字効果をもたらしていることが確認できた。

以上のように、気候変動モードに応答する農薬の貿易収支額は、国家間と貿易品目（殺菌剤・殺虫剤）で特徴的な差があり、貿易収支の多様性を解明することができた。

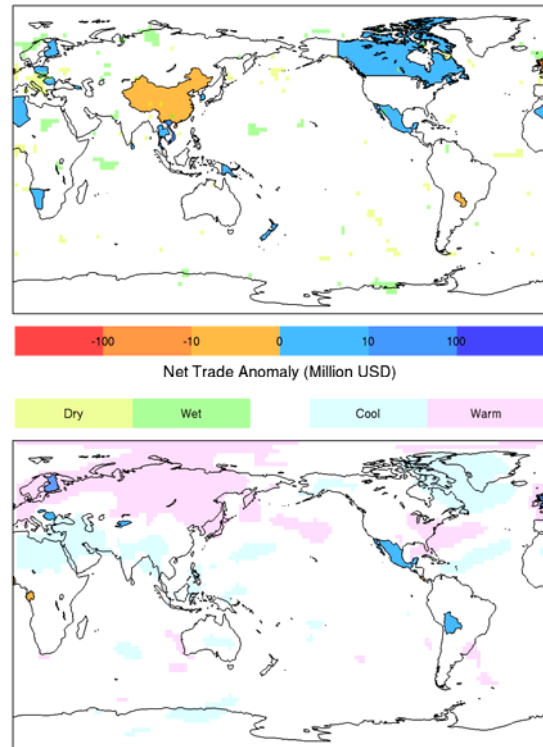


図 2 AO に応答する各種アノマリ（気温・降水量は符号のみ）. 上は降水量と殺菌剤, 下は気温と殺虫剤. 殺菌・殺虫剤の貿易収支額アノマリは, AO 年の翌年のもの（遅延は 1 年間）. 暖色系（寒色系）の国は赤字（黒字）傾向を示す.

(2) 国際条約の効果：本研究において、2012 年 3 月現在、POPs に関する 3 つの国際条約（採択年）はバーゼル条約（1989）・ロッテルダム条約（1998）・ストックホルム条約（2001）のなかで、FAOSTAT の殺虫剤貿易の額・量の“転換点”を見出すことはできていない。これは、FAOSTAT の生データから、気候変動モードに応答する貿易統計アノマリを差し引いても改善できなかった。しかしながら、これは(1)と同様に、国単位で遅延があり、国際条約と気候変動が農薬貿易に与える相対的な影響については、研究方法に改良の余地が残っている。

(3) 解決すべき課題と今後の展開：本研究では、農薬貿易統計と使用量統計に関する生データの欠損の規模が予想よりも遥かに大きく、解析上の問題を残した。特に、各国の農薬貿易額・量と使用量は、使用量のデータの期間が短いだけでなく、貿易量のデータの欠損が目立ったため、額・量と使用量の関係性を見出す方法論を確立できなかった。また、排出量のインベントリデータについては、DDTs や HCHs の生データの排出量には、実際の使用量が反映されているものの、FAOSTAT の農薬区分からは追跡不可能なものが大半

であった。いくつかの仮定を設け、整合性を評価したが、研究成果として残せるものは存在しなかった。ただし、研究代表者が別途研究を進めている POPs の全球多媒体モデル (FATE) の PCBs の動態予測において、中国や東アジアの一部の国における排出量統計が過小評価されている可能性が解明できている。今後は、動態解析・生物濃縮モデルと本研究の成果を統合し、統合的環境リスク評価を確立する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Kawaguchi, M., Sugahara, S., Watanabe, Y., Irie, K, Ishida, M., Kurokawa, D., Kitamura, S.I., Takata, H., Handoh, I.C., Nakayama, K., and Murakami, Y. (2012). Nervous system disruption and concomitant behavioral abnormality in early-hatched pufferfish larvae exposed to heavy oil. *Environmental Science and Pollution Research* (in press). 査読有
- ② Nakayama, K., Sei, N., Handoh, I.C., Shimasaki, Y., Honjo, T., and Oshima, Y. (2011). Effects of polychlorinated biphenyls on liver functions and sexual characteristics in Japanese medaka (*Oryzias latipes*), *Marine Pollution Bulletin*, **63**: 366-369. 査読有
- ③ Quegan, S., Beer, C., Shvidenko, A., McCallum, I., Handoh, I.C., Peylin, P., Rodenbeck, C., Lucht, W., Nilsson, S., and Schimmlus, C. (2011). Estimating the carbon balance of central Siberia using a landscape-ecosystem approach, atmospheric inversion and dynamic global vegetation models. *Global Change Biology*, **17**: 351-365. 査読有
- ④ Yamanaka, N., Sogabe, A., Handoh, I.C., and Kawabata, Z. (2011). The effectiveness of clove oil as an anaesthetic on adult common carp, *Cyprinus carpio* L. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, **10**: 210-213. 査読有
- ⑤ Handoh, I.C., and Hidaka, T. (2010). On the timescales of sustainability and futurability. *Futures*, **42**: 743-748. 査読有
- ⑥ Nakayama, K., Handoh, I.C., Kitamura, S. I., Kim, E. Y., Iwata, H., and Tanabe, (2010). A microarray data analysis

method to evaluate the impact of contaminants on wild animals. *Science of the Total Environment*, **408**: 5, 824-5, 827. 査読有

[学会発表] (計 8 件)

- ① Handoh, I.C., and Onishi, T. (2012). Humanity Boundaries as humanity-oriented regional counterparts to Planetary Boundaries. Planet Under Pressure 2012, London, 2012年3月27日.
- ② Handoh, I.C., and Kawai, T. (2012). An integrated environmental risk assessment framework to define Planetary Boundaries for chemical pollution. Planet Under Pressure 2012, London, 2012年3月26日.
- ③ 半藤逸樹・仲山慶・北村真一・宋準榮・河合徹. ベイズ不確実性解析で環境リスクを解く: 環境動態予測と複合ストレス実験の事例研究. 第 17 回日本環境毒性学会・バイオアッセイ研究会合同発表会, 鹿児島市, 2011年9月3日[招待講演]
- ④ 半藤逸樹, 河合徹. POPsの生物地球化学的物質循環を支配する気候変動モード. 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 2011年07月17日.
- ⑤ 河合 徹・鈴木規之・半藤逸樹 全球多媒体モデルを用いたPCBsの海洋中動態に関するコンジナー間の比較と評価. 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 2011年7月17日.
- ⑥ 半藤逸樹, 河合徹. 残留性有機汚染物質の動態予測は不確実か? 第 19 回環境化学討論会. 春日井市, 2010年6月23日.
- ⑦ 河合徹, 半藤逸樹. 全球多媒体モデル FATEを用いたPCBsの時空間変動予測. 第 19 回環境化学討論会. 春日井市, 2010年6月23日.
- ⑧ Handoh, I.C., Song, J.Y., Kitamura, S. I., and Nakayama, K. (2010). A dynamic model to examine the tipping points in the aquatic infection system. The 6th International Conference on Marine Pollution and Ecotoxicology. Hong Kong. 2010年6月3日.

[図書] (計 5 件)

- ① 半藤逸樹 編 (2012). 「総合地球環境学序論」, 地球研WP No. 3, pp46.
- ② Kawai, T., Suzuki, N., and Handoh, I.C. (2012). Inter-congener variability in the global dynamics of polychlorinated biphenyls: A message from Finely- Advanced Transboundary Environmental model (FATE),

- Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, 6: 303-309.
- ③ Kawai, T., and Handoh, I.C., Suzuki, N. (2011). The roles of marine phytoplankton and ocean circulation in determining the global gate of polychlorinated biphenyls. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, 5: 179-187.
- ④ Handoh, I.C., and Kawai, T. (2011). Bayesian uncertainty analysis of the global dynamics of persistent organic pollutants: Towards quantifying the planetary boundaries for chemical pollution. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, 5: 179-187.
- ⑤ 半藤逸樹 (2010). エルニーニョと農水産物貿易：世界貿易を揺るがす大気・海洋相互作用環。総合地球環境学研究所編「地球環境学事典」，弘文堂，92-93.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

半藤 逸樹 (HANDOH ITSUKI)

総合地球環境学研究所・研究推進戦略センター・特任准教授

研究者番号：40446266