

S - 3 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案
手法の確立に関する総合研究プロジェクト

2. 温暖化対策の多面的評価クライテリア設定に関する研究

(2) 温暖化リスク管理の観点からのクライテリア研究

独立行政法人国立環境研究所

社会環境システム研究領域

原沢英夫

社会環境システム研究領域 環境経済研究室

亀山康子

久保田泉

< 研究協力者 >

社会環境システム研究領域 環境経済研究室

脇岡靖明

高橋 潔

[要旨] 環境対策を経済発展と両立させること、すなわち、持続可能な発展を目指すことが地球温暖化を含む地球環境政策の基本的な目標である。しかしながら、地球環境問題はその原因と影響が様々な分野に複雑に絡み合っており、適切な政策や対策を執り行うことが非常に難しい。政策・対策検討のためには、複雑に絡みあう関連因子を総合的に勘案し、多様な政策方針の是非について比較検討を実施出来るようにするための支援ツールの開発が強く求められている。本研究では、濃度安定化等の温暖化抑制目標とそれを実現するための経済効率的な排出経路、および同目標下での影響・リスクを総合的に解析・評価するための支援ツール“ AIM/Impact[Policy] ”を開発した。AIM/Impact[Policy]のうち、温暖化抑制目標を前提条件として与えた場合の温室効果ガスの最適排出経路を推計する動学的最適化モデルを用いて、温室効果ガス安定化制約の下での、地球規模の気候変化や温暖化影響、温室効果ガス削減政策のタイミングについて定量的評価を行った。

[キーワード] 地球温暖化、統合評価モデル、気候安定化、温室効果ガス削減政策

1. はじめに

20世紀以降現在まで、地球平均気温は 0.6 ± 0.2 上昇している¹⁾。その主な原因は、人間活動に起因するものであることが強く示唆されている²⁾。地球規模での気温上昇は、気候変動による異常気象の頻発に少なからず影響すると考えられており³⁾、その結果による自然生態系や生活環境、農業や水資源に対する甚大な影響が懸念されている⁴⁾。また、地球規模での気温上昇は、海水の熱膨張や山岳氷河・大陸氷河の融解を引き起こし、海水面下地域と高波や津波の危険地域が拡大すると予想されている⁵⁾。

地球温暖化を最小限に食い止めるために、温室効果ガス濃度を安定させる必要がある。気候変動枠組条約では⁶⁾、その究極的な目標として「地球の気候系に対し危険な人為的干渉を及ぼすことにならない水準において、大気中の温室効果ガスの濃度を安定させること」を掲げてい

るが、達成すべき具体的目標値は述べられていない。これは、温室効果ガスの安定化濃度と温暖化影響との関係について科学的知見が充分でないことや、「危険な人為的干渉」がいかなるものであるかの判断には主観が少なからず含まれること、などが理由と考えられる。近年、欧州各国では危険な影響を回避するための安定化濃度が提案され、温暖化影響による被害やその対策コストの比較などの研究が進められてきている。さらに、2007年に公表予定のIPCC第4次評価報告書においても、影響から見た温暖化の危険な水準と主要な脆弱性の検討は重要な課題に挙げられている。また、京都議定書の第一約束期間以降の枠組みを検討する際にも、安定化濃度を達成するためには排出量をいつまでにどの程度削減すれば良いか、その場合の気温変化の影響はどうかなどに関する科学的知見が強く求められている。

環境対策を経済発展と両立させること、すなわち、持続可能な発展を目指すことが、地球温暖化を含む地球環境政策の基本的な目標である。しかしながら、地球環境問題はその原因と影響が様々な分野に複雑に絡み合っており、適切な政策や対策を執り行うことが非常に難しい。政策・対策検討のためには、複雑に絡みあう関連因子を総合的に勘案し、多様な政策方針の是非について検討することが強く求められている。

2．研究目的

本研究の目的は、濃度安定化等の温暖化抑制目標とそれを実現するための経済効率的な排出経路、および同目標下での影響・リスクを総合的に解析・評価するための政策支援ツールを開発することである。

3．研究方法

温暖化抑制目標を前提条件として与えた場合の温室効果ガスの最適排出経路を推計する動学的最適化モデルと、その最適排出経路の下での気候変化により引き起こされる様々な分野の温暖化影響を推計する影響評価モデルを用いて、温室効果ガス安定化制約の下での、地球規模の気候変化や温暖化影響、温室効果ガス削減政策のタイミングについて定量的評価を行う。

4．結果・考察

4．1 AIM/Impact[Policy]の開発

濃度安定化等の温暖化抑制目標とそれを実現するための経済効率的な排出経路、および同目標下での影響・リスクを総合的に解析・評価するための政策支援ツールである

AIM/Impact[Policy]を開発した(図-1)。AIM/Impact[Policy]は、全球平均気温・海面上昇、大気中GHG濃度等に関して将来目標を設定した場合の、(1) 最適温室効果ガス排出経路ならびに地域別排出削減分担量を推計し、(2) 同温室効果ガス排出経路を前提とした場合の国別・分野別温暖化影響量を示して、設定した将来目標が「危険な影響」の回避に十分であるかどうか(将来目標の有効性)を検討するための材料を提供する機能を持つ。これらは、地球温暖化抑制政策の具体的な将来目標の策定に非常に有効である。AIM/Impact[Policy]は大きくは、抑制目標下での温室効果ガス排出に関してシミュレートする「排出推計パート」と、抑制目標の下で発現が予期される温暖化影響をシミュレートする「影響推計パート」の2つのパートからなる。また、それぞれのパートは、複数のモデルの連結により構成されている。

排出推計パートは、3つのモデルの連結により構成されている。動学的最適化モデルは、世界を一つの地域として取り扱い、様々な制約条件下における地球全体の温室効果ガス排出パス（言い換えると、各時点での削減必要量）を推計する。バーデンシェアリングモデルでは、動学的最適化モデルによって推計された地球全体の温室効果ガス削減量を用いて、国別の削減負担を算定する。バーデンシェアリングモデルでは、全球での削減必要量を国別に割り振るための異なる複数のスキームを含み、ユーザーが任意に選択可能である。世界経済モデルは多地域一般均衡型経済モデルであり、バーデンシェアリングモデルにより推計される各国・各地域の削減負担がもたらす経済影響を定量的に評価する。世界経済モデルでは、世界を複数の地域に分割し、複数の温室効果ガスを取り扱う。世界経済モデルでは、国別・地域別の削減負担を経済的に達成するためのフレキシビリティスキーム（排出権取引、CDM等）採用の効果についても検討可能である。影響推計パートでは、国別気候変化（降雨量・気温）を、既存の影響研究の知見に基づいて用意した国別分野別影響関数と組み合わせ、国別分野別の潜在的影響を推計する。分野別影響関数を作成するための既存影響研究知見としては、筆者らが過去に行った影響評価モデル研究に加え、論文誌等で過去に発表された多くの影響研究の知見を利用することが可能であり、分野別影響研究知見の総合化プラットフォームとして機能する。

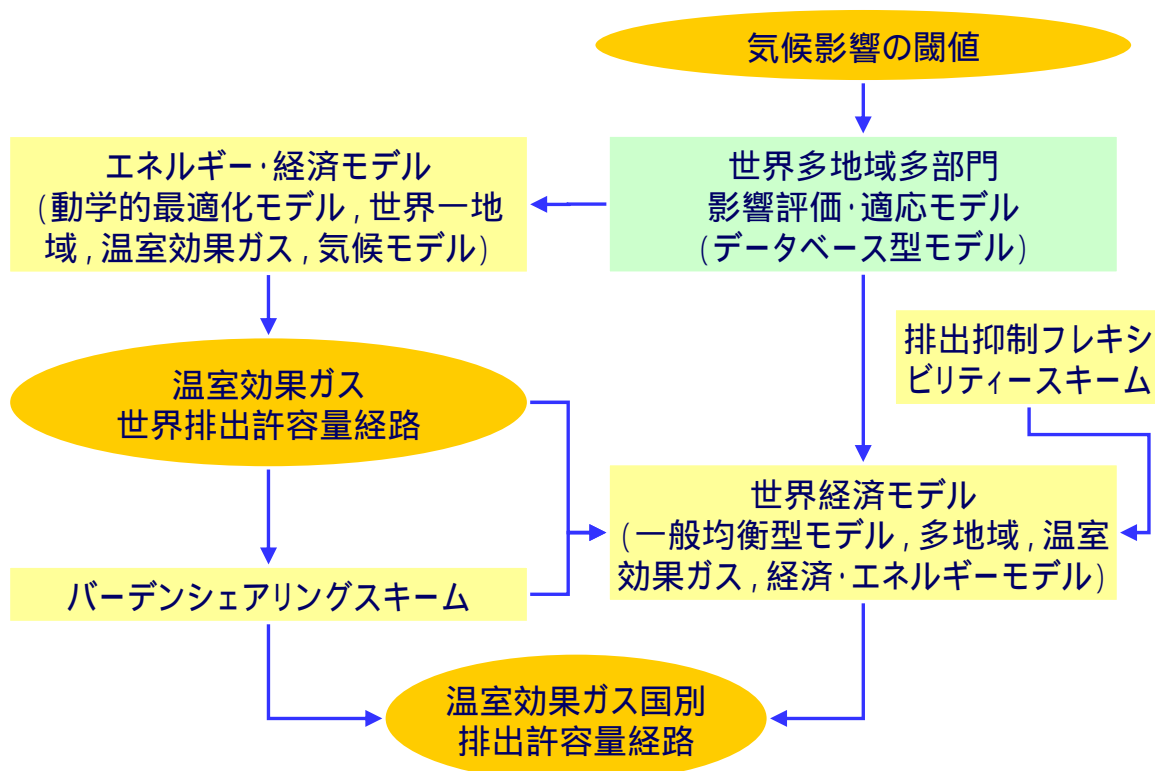


図-1 AIM/Impact[Policy]のモデル構造図

4.2 気候安定化のための温室効果ガス排出抑制政策分析

図-1に示すモデルの中で、温暖化抑制目標を前提条件として与えた場合の温室効果ガスの最適排出経路を推計する動学的最適化モデルと、その最適排出経路の下での気候変化により引き起こされる様々な分野の温暖化影響を推計する影響評価モデルを用いて、温室効果ガス安定化制約の下での、地球規模の気候変化や温暖化影響、温室効果ガス削減政策のタイミングについて定量的評価を行った。温暖化影響を考慮して、温室効果ガス濃度安定化とGHG削減タイミングを検討するために、Business as Usual (BaU)および以下の3つの制約下におけるGHG排出抑制政策分析を行った。

- BaU: Business as usual
- CO₂-450ppm: 二酸化炭素濃度 450ppm 以下の制約
- GHG-500ppm: 温室効果ガス濃度 500ppm 以下の制約
- GHG-600ppm: 温室効果ガス濃度 600ppm 以下の制約

制約は1990年から2200年まで、制約値を超えないような二酸化炭素もしくはGHG濃度が保たれるように計算される。将来人口および将来経済成長はIPCCで作成されたSRESのB2を用いた。割引率は4%、GHG/エネルギー産出費の減少率は0.85、気候感度は2.5 を適用した。2100年までのGHG排出量、GHG濃度、地球平均気温上昇と、2100年までのインドにおけるイネ・コムギ潜在生産性への影響を図-2に示す。BaUケースにおいては、2050年までGHG排出量が増加し続け、2100年においては、GHG濃度が1990年に比べて約2.5倍に増加する。地球平均気温は、産業革命前と比べて2050年で2.0、2100年で3.5 上昇する。

WBGU⁷⁾では、様々な既存の研究結果を調査した結果、温暖化の影響について、気温上昇の視点から閾値について次のように述べている。“above 2°C the risks increase very substantially, involving potentially large extinctions or even ecosystem collapses, major increases in hunger and water shortage risks as well as socioeconomic damage, particularly in the developing countries。”

2100年までの気温変化から判断すると、すべてのケースにおいて2 を超える結果となっている。CO₂濃度450ppmvケースにおいては、二酸化炭素以外のGHGが制限なく排出する設定になっているため、GHG濃度がGHG-500ppmケースより高い値を示し、結果として、2100年の地球平均気温上昇は約2.6 に達している。GHG-600ppmケースでは、2060年には2 を超え(約2.1)、2100年には2.7 に達している。3ケースの中で最も厳しい制約のGHG-500ppmケースにおいても、2100年において2.1 に達していることから、結果産業革命前と比べて気温上昇を2 以下に抑えるような安定化濃度制約を達成するためには、温室効果ガスを500ppm以下に抑える必要があることが示唆された。

海面上昇に着目すると、GHG-500ppmケースでは、2050年に0.10m、2100年に0.18mの上昇を示し、BaUケースと比べそれぞれ約0.96倍、約0.70倍にとどまっている。一方、CO₂-450ppmケースとGHG-600ppmケースでは、2100年においていずれも約0.21mの上昇を示し、GHG-500ppmvケースと比べて、約1.19倍となっている。

1961～1990年の平年的状態と比べたイネ潜在生産性変化(インド)に着目すると、21世紀前半においてはBaUケースも含む全ケースで同様の微減となるが、21世紀後半においてBaUケースでは潜在生産性低下が次第に進み、21世紀末には20%弱の潜在生産性低下が見込まれる。GHG-600ppmケースやCO₂-450ppmケースでは、BaUケースに比べ生産性低下の悪影響は緩和されるものの2040年以

降も緩やかな減少傾向が続く。一方、GHG-500ppmケースでは、2040年以降には21世紀前半の状態がほぼ維持されると見積もられた。インドのコムギ潜在生産性については、GHG-500ppmケースであっても21世紀中の減少傾向は避けることが出来ないが、BaUケースに比べると減少速度は緩和される。

GHG排出量に着目すると、GHG濃度を500ppm以下に抑えるためには、BaUと比べ2020年では2.9GtCeq/yr、2050年では12.2GtCeq/yrの削減量となり、早急に本格的な削減体制が必要となる。GHG濃度制約が500ppmv以下における2010年以降のGHG排出量は、1990年における排出量をすべて下回っており、厳しい排出抑制政策が求められる結果となった。CO2-450ppmケースでは、2010年以降、GHG排出量はなだらかに低下する排出傾向を示す。GHG-600ppmケースでは、2050年までGHG排出量が増加するが、2040年以降急激な削減が求められる。

シミュレーション結果について総括すると、GHG-600ppmケースやCO2-450ppmケースではBaUケースに比べて気温上昇・悪影響が緩和されるものの「危険な影響」を回避するために十分とは言えず、GHG濃度を500ppm以下に抑えることが望まれる。GHG濃度を500ppmに安定化させる場合、2020年では2.9GtCeq/yr、2050年では12.2GtCeq/yrの削減量が必要であるとの見積もられ、早急な対策が要求されることが明らかとなった。

5．本研究により得られた成果

温室効果ガスの排出、それによる気候変化、気候変化による影響といった地球温暖化に関連する一連のプロセスを統合して評価可能な政策支援ツールであるAIM/Impact[Policy]を開発した。さらに、AIM/Impact[Policy]に含まれる動学的最適化モデルと影響評価モデルを用いて、いくつかの温室効果ガス濃度安定化目標を達成するために必要な温室効果ガス排出パスとその時の温暖化影響を定量的に評価した。その結果、「危険な影響」を回避するために必要な濃度安定化目標としてGHG濃度500ppm以下が必要であり、その達成のためには、近い将来からの大幅な排出削減が必要であることを示した。

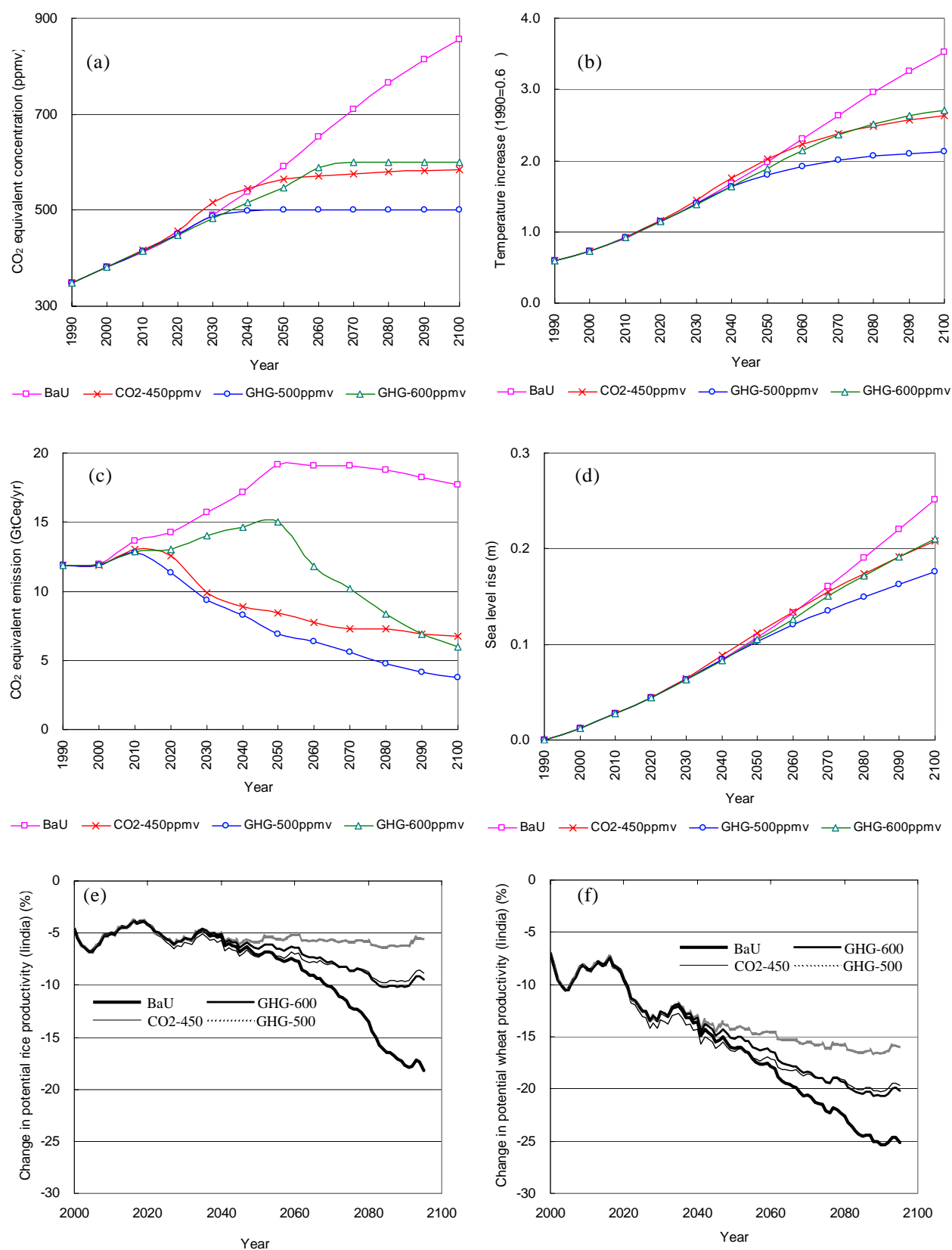


図-2 安定化濃度制約下における気温上昇、温室効果ガス排出量、海面上昇、
インドの稲・小麦への温暖化影響

6 . 引用文献

- 1) Mitchell JFB, Karoly DJ, Hererl GC, Zwiers FW, Allen MR, Marengo J (2001) Detection of Climate Change and Attribution of Causes. In: Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Jonson CA (Eds.), Climate Change 2001. Impacts, The Scientific Basis. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 695 738.
- 2) Mitchell JFB, Karoly DJ, Hererl GC, Zwiers FW, Allen MR, Marengo J (2001) Detection of Climate Change and Attribution of Causes. In: Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Jonson CA (Eds.), Climate Change 2001. Impacts, The Scientific Basis. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 695 738.
- 3) Folland CK, Karl TR, Christy JR, Clarke RA, Gruza GV, Jouzel J, Mann ME, Oerlemans J, Salinger MJ, Wang S-W (2001) Observed Climate Variability and Change, In: Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Jonson CA (Eds.), Climate Change 2001. The Scientific Basis, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 99 181.
- 4) Hare W (2003) Assessment of Knowledge on Impacts of Climate Change - Contribution to the Specification of Art. 2 of the UNFCCC, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU), Berlin, Germany.
- 5) Church JA, Gregory JM, Huybrechts P, Kuhn M, Lambeck K, Nhuan MT, Qin D, Woodworth PL (2001) Changes in Sea Level. In: Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Jonson CA (Eds.), Climate Change 2001. The Scientific Basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 639 694.
- 6) United Nations (1992) United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations, New York.
- 7) Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2003) Climate protection strategies for the 21st Century: Kyoto and beyond, Special Report 2003, WBGU, Berlin, Germany.

7 . 国際共同研究等の状況

特になし

8 . 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

Kameyama, Y. 2004. "The Future Climate Regime: A Regional Comparison of Proposals", *International Environmental Agreements, Law and Economics*, 4, 4, 307-326.

<その他誌上発表(査読なし)>

Kameyama, Y. 2004. "Evaluation and Future of the Kyoto Protocol: Japan's Perspective" *International Review for Environmental Strategies* 5,1, 71-82.

Kameyama, Y. 2004 "Beyond 2012" debate in Japan", *Kyoto Protocol: Beyond 2012*, Pelangi report special issue, 9-10.

亀山康子、2005、「京都議定書の評価」『資源環境対策』1月号、41、1、94-96.

亀山康子、2005、「京都議定書第一約束期間以降の課題」『かんきょう』3月号、13-15.

<書籍>

Kameyama, Y. 2004. "The IPCC: Its roles in international negotiation and domestic decision-making on climate change policies", in Norichika Kanie and Peter Haas eds. *Emerging Forces in Environmental Governance*, 137-156. Tokyo: United Nations University Press.

Kameyama, Y. 2004. "Post-2012 Climate Policy Regime: Divergent Views, Trends, and the Importance of Incentives Mechanisms" in Bertrand Fort ed. *Reinforcing Asia-Europe Co-operation on Climate Change, Proceedings of the Asia-Europe Environment Forum Second Roundtable*, Jeju, Republic of Korea, 25-26 March 2004. Singapore: Asia-European Foundation, 212-229.

亀山康子、2004、「食糧危機と人口爆発」「地球環境問題」「京都議定書」田中明彦・中西寛編『新・国際政治経済の基礎知識』有斐閣、279-283.

<報告書類等>

Otto, Hermann E., Winkler, H., Brouns B., Kartha, S., Mace, M., Huq, S., Kameyama, Y., Sari, A.P., Pan, J., Sokona, Y., Bhandari, P.M., Kassenberg, A., La Rovere, E.L., and Rahman A. 2004. "South-North Dialogue on Equity in the Greenhouse", a final report from South-North Dialogue project by Wuppertal Institute, Germany, and EDRC University of Cape Town, South Africa, supported by GTZ, Germany, May. 2004.

(2) 口頭発表 (学会)

H. Harasawa: Avoiding Dangerous Climate Change, Exeter, UK, 2005

"Key Vulnerabilities and Critical Levels of Impacts in East & South East Asia, "Avoiding Dangerous Climate Change"

Y. Hijioka, M. Kainuma, Y. Matsuoka, H. Harasawa and S. Nishioka: Avoiding Dangerous Climate Change, Exeter, UK, 2005

"Long-term Emissions Scenarios and Short-term Targets: Application of AIM new model"

K. Takahashi, H. Harasawa, N. Mimura, Y. Matsuoka and S. Nishioka: Avoiding Dangerous Climate Change, Exeter, UK, 2005

"Global Warming Impacts on Japan and Asian region"

亀山康子・蟹江憲史・高村ゆかり・田村堅太郎：環境経済・政策学会2004年大会(2004)

「気候変動問題に関する2013年以降の国際制度に関する分析：各種提案と特徴の整理」

亀山康子：日本国際政治学会 2004 年大会(2004)

「将来の気候変動レジームに関する諸提案の一考察」

Kameyama, Y.: ASIA-EUROPE ENVIRONMENT FORUM Second Roundtable:"Reinforcing Asia-Europe Cooperation on Climate Change" March 2004,

"Post-2012 Climate Policy Regime: Divergent Views, Trends, and the Importance of Incentives Mechanisms",

(3) 出願特許

特になし

(4) シンポジウム、セミナーの開催(主催のもの)

特になし

(5) マスコミ等への公表・報道等

特になし

(6) 成果の政策的な寄与・貢献について

平成16年4月に発足した中央環境審議会地球環境部会「気候変動に関する国際戦略専門委員会」の委員として検討に参画し、気候変動対策に関する将来の国際的枠組みのあり方について、各専門の立場から意見した(原沢・亀山)。

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

グリーンイーグルスG8サミット準備の一つとしての科学者会合Avoiding Dangerous Climate Change国際会議(エクセター、英国)にて研究成果を発表し、本研究成果の一つとして日本の温暖化影響を報告した。国内においては、環境省地球環境部会気候変動に関する国際戦略専門委員会における報告書作成過程において、本研究成果である欧州各国の中長期目標調査結果や、中長期目標のあり方に関してインプットをした。また、同委員会において、AIM/Impact[Policy]モデルを使用した日本の温室効果ガス安定化目標のありかたについてプレゼンテーションを行った。さらに、気候変動将来枠組IGESワーキンググループなどにおいても、環境省地球環境部会気候変動に関する国際戦略専門委員会に資する資料提供などにおいて本研究成果を活用した。今後も、環境省地球環境部会気候変動に関する国際戦略専門委員会や気候変動将来枠組IGESワーキンググループ等を通じて、日本の長期的な脱温暖化政策形成過程に貢献する予定である。