

4 全世界を対象とした温室効果ガス削減可能量及びその費用に関する研究

A study on potential and costs of greenhouse gas emission reduction in the world

安福 一樹, 松岡 譲(京都大学)

Kazuki YASUFUKU, Yuzuru MATSUOKA (Kyoto Univ.)

1. はじめに

世界全体で人為起源の温室効果ガス(GHG)排出量が増加している。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)及びその報告書(IPCC, 2007)によると、世界平均気温の上昇のほとんどは人為的 GHG の可能性が高く、世界の気候システムに多くの変化を引き起こすと考えられており、GHG 削減のための有効な対策を講じることが必要とされている。そのため、国際社会において新たな削減目標とその費用負担、経済的影響に向けた議論や会合が行われており、そのための有用な全世界規模の分析、基礎的情報が求められている。そのため、温室効果ガス削減のための技術を用いた排出削減と費用に関する分析が各種行われているが、原子力発電、二酸化炭素回収貯留(CCS)など、近年、排出削減のための技術として注目されている技術を入れた分析や費用に関する分析は少ない。こうした技術を含めて分析することにより、分析結果は大きく変化する可能性があり、これらを含めて分析することは今後の削減目標に影響すると考えられる。

こうした背景を踏まえ、本研究では全世界を対象として新たな削減技術を含めた温室効果ガスの削減量とその費用を分析し、考察を行った。

2. 研究内容

2.1 推計手法の概要

本研究では 2005 年を基準年として、2020 年における全世界を対象とした温室効果ガスの削減可能量及びそれに伴う費用を推計した。推計に当たって世界を 23 の地域、産業、ガス別に 11 のセクターに分割し、各地域、各セクター内の“排出に関する活動の量”と技術及び排出量を表したツールを構築し、各地域、各セクター内における技術の入れ替わりを元に排出量と削減量の推計を行った。

なお、“排出に関する活動量”とは電力セクターなら発電量、鉄鋼セクターなら鉄鋼生産量などを表した総称とする。各セクターと“排出に関する活動量”との関係を表 1 に示す。

2.2 使用したデータ

本研究で使用した“排出に関する活動量”は明石(2009)、長谷川ら(2007)、長谷川ら(2008)、花岡ら(2008)、Hanaoka *et al.*(2005)による値を用いた。発電量のみ他セクター推計結果より得られる電力需要量から推計した。

使用した技術は Hanaoka *et al.*(2008)で使われた技術に加えて、小型水力発電、地熱発電、原子力発電、二酸化炭素回収貯留(CCS)(新規火力発電、既存火力発電、新規高炉、セメント焼成工程を対象)、バイオマス燃料転換(セメント部門)、照明制御装置、LED 照明(白熱灯型、蛍光灯型)を追加して分析を行った。

2.3 推計手法の概要

本研究の推計手法は基準年に各地域、各セクターが保有している技術のうち、目標年において寿命に到達したものが破棄され、代わりに新しく技術が導入されることで技術の入れ替わりが行われると想定する(対策ケース)。Hanaoka *et al.* (2008)では新規に導入する技術を排出量が少なくなるように選択し、導入していたが、本研究では想定する技術のうち費用が安い技術から順に選択し、導入するとして推計を行った。

表 1 セクター分割と使用する排出と関連する活動量

セクター	排出に関する活動量
発電	発電量
化石燃料	化石燃料採掘量
鉄鋼	鉄鋼生産量
セメント	セメント生産量
その他産業	ボイラー、モーター、ヒーター使用量
家庭	家庭での電力使用量
業務	業務での電力使用量
輸送	交通量
農業	農業生産量
廃棄物	廃棄物発生量
Fガス	フロン系温室効果ガス発生量

一方、目標年において寿命に到達した技術が再導入され、各セクターの技術の割合が基準年から変化しないとしたケース(技術固定ケース)も想定する。技術固定ケースと比較した場合の対策ケースにおける技術の置換による温室効果ガス排出減少量を削減可能量とする。この手法の概要を、発電セクターを例として図1に示す。

排出量と“排出に関する活動量”との関係は式(2.1)及び(2.2)のように表わされる

$$Q_{i,s,m}^t = \sum_{l \in W_s} (X_{i,l}^t \times e_{i,l,m}^t) \quad (2.1)$$

$$D_{i,j,s}^t = \sum_{l \in \omega_{j,s}} (A_{i,l}^t \times X_{i,l}^t) \quad (2.2)$$

ここで Q : ガスの排出量、 X : 技術の運転量、 e : 技術を1単位運転するときのガスの排出量、 W_s : セクターに関する技術の集合、 D : “排出に関する活動量”、 A : 技術1単位運転による“排出に関する活動量”、 $\omega_{j,s}$: セクター中の工程 j に属する技術、 i : 地域、 s : セクター、 j : 工程、 l : 技術種、 m : ガス種、 t : 年

また、本研究では削減可能量だけではなく、費用に関する分析も行った。各技術の年当たり費用を元に対策ケースと技術固定ケースそれぞれにかかる費用の差額を推計し、これを削減費用総額とした。加えて各技術を導入する際に発生する設備投資費用も同様に差額の推計も行い、これを追加設備投資費用総額とした。なお、農業、廃棄物、Fガスについては追加設備投資費用総額の推計を行わない。

技術の年当たり費用は式(2.3)、技術の設備投資費用は(2.4)のように表わされる。

$$C_{i,l}^t = B_{i,l}^t \times \frac{\alpha_i \times (1 + \alpha_i)^{T_{i,l}}}{(1 + \alpha_i)^{T_{i,l}} - 1} \times \frac{1 + \Lambda_{i,l}^t}{A_{i,l}^t} + \frac{g_{0,i,l}^t + g_{1,i,l}^t}{A_{i,l}^t} \quad (2.3)$$

$$CAP_{i,l}^t = B_{i,l}^t \times \frac{1 + \Lambda_{i,l}^t}{A_{i,l}^t} \quad (2.4)$$

ここで C : 技術のサービス量当たり費用、 B : 技術の設備投資費用、 α : 利子率、 T : 技術の寿命、 g_0 : 技術1単位運転したときの燃料費以外の運転費用、 g_1 : 技術1単位運転した時の燃料費、 A : 技術の運転余裕係数、 CAP : 技術のサービス量当たり設備投資費用

3. 結果と考察

3.1 温室効果ガス排出量と削減可能量の推計結果

世界全体の温室効果ガス排出に対して、技術が入れ替わることによる排出量の減少量を分析した。推計の結果を図2、図3及び図4に示す。なお、図3、4の産業は鉄鋼、セメント、その他産業を、民生は家庭と業務を集計したものである。

推計の結果、世界全体の2020年における対策ケースと技術固定ケースとの排出量を比較すると、技術固定ケースが58.8Gt-CO₂eq なのに対し、対策ケースは48.4Gt-CO₂eq となり、削減可能量は

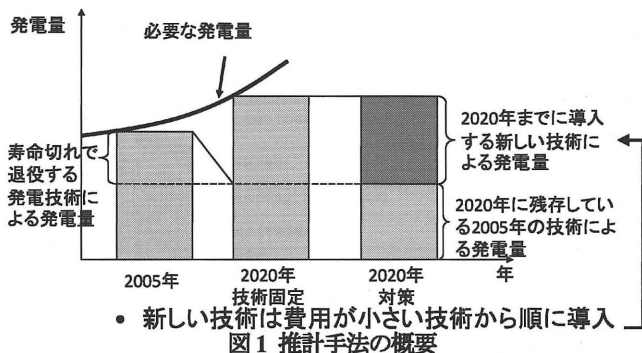


図1 推計手法の概要

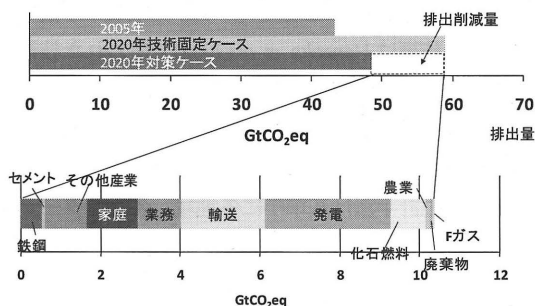


図2 温室効果ガス排出量と削減可能量の推計結果

10.4Gt-CO₂eq となることが示されたが、2005 年度比で 12%の増加となり、今回用いた技術及び手法では排出削減には不十分であると考えられる。削減可能量の内訳をセクター別に見ると、発電に 3.2 Gt-CO₂eq、輸送に 2.1 Gt-CO₂eq の削減可能量が存在することが示された。これら二つのセクターで全体の削減可能量の約半分を占めており、これらのセクターへの対策は排出削減を行う際に重要と考えられる

また、削減可能量の内訳を地域別にみると、中国に 2.4Gt-CO₂eq、アメリカに 1.8Gt-CO₂eq の削減可能量が存在することが示された。この二地域で世界全体の約 41%を占めており、排出削減にはこれらの国の参加が欠かせないと思われる。

また、削減可能量の内訳を Annex I 諸国、Non-Annex I 諸国別及びセクター別に見ると、Non-Annex I 諸国の削減可能量が全体の 63%を占めており、京都議定書で削減義務を負っている国のみでは削減は厳しいと思われる。

また、Annex I 諸国の削減可能量の内訳は発電、輸送、民生がそれぞれ 10%、11%、13%とほぼ同じ割合なのに対し、Non-Annex I 諸国の内訳は発電が 21%、産業が 13%と比較的大きな割合を占めている。よって、排出削減対策を行う際には、国によって対策が異なると思われる。

3.2 削減費用総額と追加設備費用総額の推計結果

3.1 の推計結果における費用総額と追加設備投資費用総額をそれぞれのケースの技術の入れ替わりを元に分析した。費用総額の推計の結果を図 5、追加設備投資費用総額の推計結果を図 6 に示す。

推計の結果、世界全体の 2020 年における対策ケースの費用は技術固定ケースより 0.87 兆ドル減少することが示された。2020 年の実質 GDP の推計値は 58 兆ドル (明石, 2009) より、削減費用総額は世界全体の 1.5%を占める値であることが示された。

費用減少の内訳をセクター別にみると、輸送セクターに 0.55 兆ドルの費用減少が存在し、これは費用減少全体の約 63%を占めることが示された。

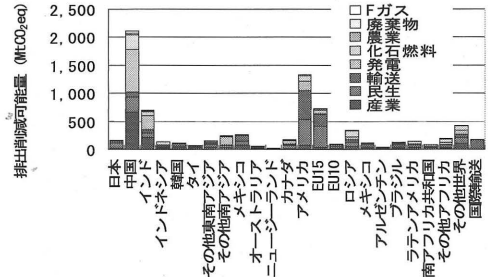


図 3 削減可能量の地域別推計結果

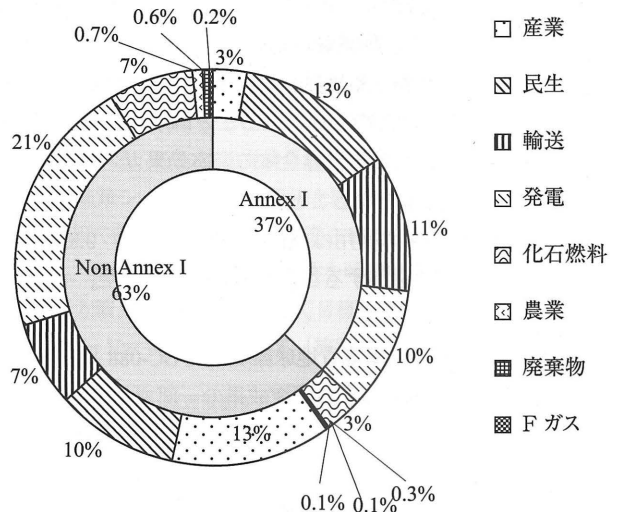


図 4 削減可能量の地域別推計結果 2

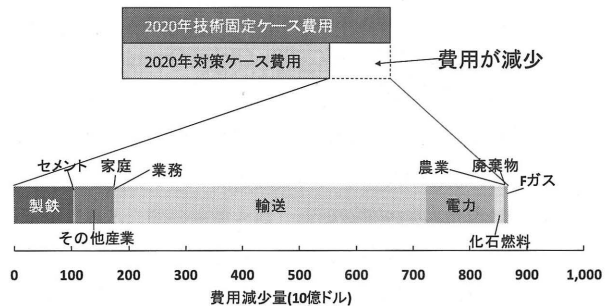


図 5 削減費用総額の推計結果

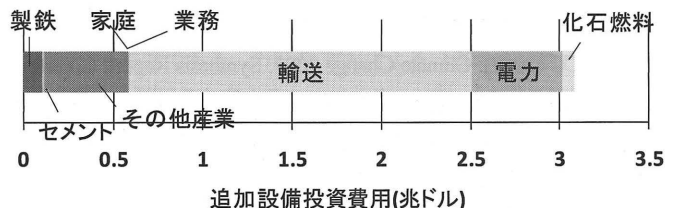


図 6 追加設備投資費用総額の推計結果

一方、設備投資費用の増加、追加設備投資費用総額は3.1兆ドルとなることが明らかになった。

追加設備投資費用総額の内訳をセクター別にみると、輸送セクターに1.9兆ドルの追加的な設備投資費用が必要であることが明らかになった。これは全体の約62%を占めている。

これら二つの分析より、輸送セクターには削減に伴う費用減少が他のセクターと比べて大きい、つまり、輸送セクターは対策ケースで選択された技術を導入することで得られる社会的便益が大きい、導入時に現在の技術と比べて多額の設備投資費用が必要であることを示している。そのため、輸送セクターに関連する、何らかの経済・社会・金融的なシステムを設けることで効果的に排出削減が可能であると考えられる。

4. 結論

本研究では技術の入れ替わりを元に、温室効果ガス排出量及び削減可能性を推計した。また、それに付随する結果として、削減費用総額と追加設備投資費用総額を推計した。以下にその要点を記す。

- 1) 2020年における世界全体の温室効果ガス排出量は技術固定ケースが58.8Gt-CO₂eqなのに対し、対策ケースは48.4Gt-CO₂eqとなることが示された。
- 2) 2020年における世界全体の温室効果ガスは対策ケースの場合、10.4Gt-CO₂eq削減可能だが、2005年度比で12%増となることが示された。
- 3) 対策ケースの費用は技術固定ケースより0.87兆ドル減少することが示された。一方、設備投資費用は3.1兆ドル増加することが明らかになった。

謝辞 本研究は、環境省地球環境研究BC-088「統合評価モデルを用いた気候変動統合シナリオの作成及び気候変動政策分析」による研究成果の一部である。ここに記して感謝の意を示す。

参考文献

- 1) 明石 修(2009): エネルギーサービス需要および技術の変化を考慮した産業、運輸部門からのCO₂排出量の中期的推計, 京都大学博士学位論文。
- 2) 花岡 達也, 明石 修, 日比野 剛, 長谷川 知子, 藤野 純一, 松岡 譲, 甲斐沼 美紀子(2008): 世界地域別の温室効果ガス排出削減量と削減費用の評価, エネルギー資源学会
- 3) Hanaoka, T., O. Akashi, Y. Kanamori, T. Ikegami, M. Kainuma, T. Hasegawa, S. Fujimori, Y. Matsuoka, G. Hibino, K. Fujiwara, and Y. Motoki(2008): Global Greenhouse Gas Technological Mitigation Potentials and Costs in 2020 -The Revised Edition-, Draft report, AIM Project Technical Paper.
- 4) Hanaoka, T., M. Kainuma, and Y. Matsuoka(2005): Global F-gas Emissions Scenarios and the Evaluation of Potential Reductions, *Forth International Symposium on Non-CO₂ Greenhouse Gases(NCGG-4)-Science, Control, Policy and Implementation*.
- 5) 長谷川 知子, 花岡 達也, 松岡 譲(2007): 農業・廃棄物部門におけるCH₄とN₂Oの排出量とその削減ポテンシャルの将来推計, 環境システム研究論文集, 35, 491-498.
- 6) 長谷川 知子, 松岡 譲(2008): 将来の食糧生産に由来するCH₄とN₂Oの排出量に関する研究, 地球環境研究論文集, 16, 155-164.
- 7) IPCC (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, 104pp.

キーワード: 温室効果ガス、削減可能性、削減費用、削減技術、設備投資費用

Key Words: Greenhouse Gas, Reduction Potential, Reduction Cost, Mitigation Technology, Capital Expenditure Cost