

7. 地球温暖化対策の経済評価に関する 最近の研究

RECENT STUDIES ON ECONOMIC EVALUATION OF COUNTERMEASURE AGAINST GLOBAL WARMING

土木計画学研究委員会

森杉壽芳*・大野栄治**

Hisayoshi MORISUGI and Eiji OHNO

ABSTRACT; From the viewpoint of economics, the problem due to global warming is not essentially different from other environmental problems. Considering its uncertainty and risk because of its long-term character, however, assessing impacts of sea level rise will become more necessary for human beings. This paper begins with a summary of considerable impacts of sea level rise on the regional economy, and consolidates available literature on the economic evaluation of countermeasure against sea level rise. The approaches of the economic evaluation are divided into three categories; assessing the costs of countermeasure; assessing the market impacts, that is assessing impacts on the production and consumption of goods and services for which markets exist; and assessing the market and non-market impacts. The scope of this study is limited to adaptive responses to sea level rise, and it does not include preventive measures, for example reducing greenhouse gases.

KEYWORDS; Economic Evaluation, Global Warming, Sea Level Rise, Countermeasure.

1. はじめに

温室効果ガスの増加は直接的には地球全体の温暖化をもたらし、さらに温暖化によって海面上昇という深刻な問題を引き起こす。海面上昇による影響は海岸陸地の減少、洪水の危険性の増加、浜辺の侵食等において現われるが、ある程度の費用をかけて対策を立てれば被害は軽減される。経済学的見地からは、このような海面上昇の問題は本質的に他の環境問題とほとんど変わらないが、長期的に考えると海面上昇は地球規模の多くの問題と同時に不確実性・危険性を含んでいるため、その影響評価の必要性は高い。

本稿では、地球温暖化対策の経済評価に関する最近（過去10年間程度）の研究をレビューしながら、海面上昇による地域経済への影響および海面上昇対策の経済的影響評価の方法について整理する。なお、ここでは地球温暖化による海面上昇の対策（防御策）に限定し、その原因となる温室効果ガスを減らす対策（予防策）は含まないこととする。

* 岐阜大学工学部土木工学科 Department of Civil Engineering, Gifu University

** 筑波大学社会工学系 Institute of Socio-Economic Planning, University of Tsukuba

2. 地域経済への影響

海面上昇が加速され、平均海面レベルが絶対的に増すと、地域経済にさまざまな影響が生じる。これらの影響は直接的なもの（洪水の増加、海岸侵食等）と間接的なもの（投資の意思決定、海岸地域の管理・対策等）とに分けられるが、ここでは直接的影響を扱った研究を紹介する。

2. 1 洪水頻度の増加と永久冠水の影響

Delft Hydraulics (1988) は、①海面上昇の確率と影響の程度、②その影響に対応する社会の潜在能力という2つの概念に基づき、海面上昇による被害の恐れがあると思われる10ヶ国（バングラデッシュ、エジプト、ガンビア、インドネシア、モルジブ、モザンビーク、パキスタン、セネガル、スリナム、タイ）を選び出した。そして、これら国々における影響地帯を1次影響地帯P I A（標高1.5m以下の海岸地帯）と2次影響地帯S I A（標高1.5～3.0mの間にある地帯）とに分け、1.5mの海面上昇という仮定の下では、P I Aは適切な防御策を講じなければ浸水し、S I AにおいてもP I Aからの人口流入や塩水の進入による影響を受けるとしている。

Smith and Tirpak (1988) は、アメリカにおいて、防御策を講じなければ1mの海面上昇で5千～1万平方マイルの土地が失われ、そこには1千平方マイルの発達地帯が含まれると予測している。Hekstra (1986) は、オランダにおいて、50cmの海面上昇であれば現在の水理構造物により調整できるが、150cm程度になると全く新しい構造物が必要であるとしている。また、Elzen and Rotmans (1988) は、1mの海面上昇は洪水確率を1万分の1から1千分の2へ引き上げるので、防御策を講じなければ1千万人が危機にさらされると予測している。

以上のほかにも洪水の影響を評価した事例研究があるが、それらの多くは定性的な影響評価であり、より定量的な評価が期待される。

2. 2 海岸地域のインフラへの影響

海面上昇は侵食作用により現在の海面レベルより高い土地の喪失をも引き起こす。これに伴って、港湾施設、埠頭、水門、橋、取水口、排水口、下水道等は、高水位に対応して調節しなければならない。

Wilcoxon (1986) は、海面上昇によって起こる海岸侵食の被害の例を示している。カルフォルニアの海岸において侵食が加速されると、レクリエーションビーチの喪失、サンフランシスコ市の大量下水輸送への被害、ハイウェイへの被害、海岸近くの家屋への洪水等の危険性がある。2100年までに海岸のインフラを守るためにかかる金額は約6千万ドル（現在価値）に達すると推定したが、たとえそのような高額な海岸援助をしても2100年までに海岸の大部分は侵食されるとしている。Vellinga (1987) は、アメリカの東海岸とメキシコ湾岸（約5千km）を保護するためには、1千万～1億ドルの投資と毎年高額の維持管理費が必要であると推定している。また、Stokoe and Leblanc (1987) は、カナダ大西洋岸において、もし現在の海面上昇のシナリオが実現するならば、海岸のインフラ（都市的ウォーターフロント、建物、防波堤、橋、道路、鉄道等）の大部分をプロジェクトライフ以前に移動する必要があると指摘している。

砂浜は海岸保護のための重要な要素であり、オランダの約300kmの海岸線を守っている。Elzen and Rothmans (1988) は、2100年までに92cmの海面上昇が起こり、海岸線が29m後退すると推定している。また、このような危険性を避けるためには、2100年までに毎年6億ギルダーの海岸援助費を計上しなければならないとしている。

2. 3 河川、地下水、農地の塩害

海面上昇により、海水が川を上ったり地下水へ侵入したりして、塩水の侵入が増加する。その結果、海

岸地域の農業や飲料水の供給に被害が起これと予測される。海面上昇に関する文献にはこのような塩水の侵入についてしばしば言及されているが、その被害の大きさは計測されていない。

2. 4 水管理システムへの影響

海面上昇は水管理システムにも大きな影響を及ぼす。例えば、簡単な潮流排水システムは汲み上げ排水システムに置き換えられなければならないし、すでに汲み上げ排水システムが存在するならば（イタリア、日本、オランダ等）その供給エネルギーと汲み上げ能力を増加する必要がある〔Vellinga（1987）〕。水管理システムの投資がすでに巨額になっている国々においては、水管理の調整費用も大きい。オランダでは、1 mの海面上昇に対し、水管理システムの現在の機能を維持するためには（生産性の低下を認めるが）、数十億ギルダーの出資が必要であると推定されている〔Vellinga（1987）〕。

3. 経済的影響評価の方法

地球温暖化対策の経済的影響評価に関する研究は、主に被害費用の計測に焦点が当てられており、対策による被害費用の減少分が対策の効果（便益）であるとしている。ここで、地球温暖化の経済的影響評価に関する研究は、

① 防御策の費用評価に関する研究

② ①に、市場が存在する財やサービスの生産と消費への影響評価を加えた研究

③ ②に、市場が存在しない財やサービスの生産と消費への影響評価を加えた研究

の3つに分けられる。以下に、これらに関連した研究を紹介する。

3. 1 防御策の費用評価に関する研究

洪水災害の危険性の増加に伴い、海岸保護構造物にかかる費用が増加する。ヨーロッパ北西部のように人口が密集し高度成長した海岸地域にとって、海岸保護は大変重要な対策である。したがって、堤防などの海岸インフラの強化、水管理システムの適用、海岸浸食に対する海岸援助等のような防御策の技術費用を評価した研究は数多く行われている。これについては2章でも触れた。

オランダでは、ほとんどの海岸保護構造物の越流確率は「デルタ基準」によって1万年に1度以下と規定されており、堤防の高さを平均海水面よりも5 m高くしなければならない。2100年には海面が1 m上昇すると予測されているが、それに合わせて堤防を高くすることになると総額50～60億ギルダーが必要になる〔Hekstra（1989）〕。イギリスでは、現在の海岸構造物を2050年における海面上昇（0.2～1.65 m）に対応したものに改良するために約50～80億ポンドが必要になると推定されている〔Coker et al.（1989）〕。

3. 2 市場型の影響評価の研究

この種の研究は、海面上昇によって脅かされる土地と資産を特定するという比較的簡単なものから、より洗練された経済成長モデルまで幅広い。前者のアプローチは、海岸インフラの潜在的被害や無防備低地の洪水を示唆する手段としてしばしば使われる。

Delft Hydraulics（1989）は、低地の発展途上国は洪水に見舞われやすい地域であるとし、現在の国内総生産GDPを評価することによって経済的被害を計測した。また、オランダのI S O Sモデルは、海面上昇の度合、経済成長率、人口増加率等の要素からなるシナリオのフレームワークの中で、社会への海面上昇の影響を計算する仕組みになっており、社会的割引率や政策代替案を自由に設定して5年刻みに100年間をシミュレートすることができる〔Wind（1987）〕。このモデルの長所は、すべての主要な影響を評価

し、また金額では簡単に表現できない影響を独自の単位で表現することである。さらに、より詳細な地理的影響評価のために地理情報システム（GIS）とつながれようとしている。一方、このモデルの短所は行動上の因果関係が欠けていることであり、洪水リスクの増加と海岸資産への投資の意思決定との関係、他の経済波及効果との関係等が考慮されていない。

Gibbs (1984) のモデルは合理的経済行動を考慮しており、アメリカのチャールストンやガルベストンの地域経済成長シミュレーションに用いられた。その際、純便益が投資額から費用を差し引いたもので定義された。海面上昇は投資額と費用の両方に影響を及ぼし、またそれら（投資額と費用）は時間や地域によって異なるため、純便益を時系列で評価することによって海面上昇の有無による地域経済成長の違いを比較できる。しかし、このアプローチは、無形のもの（人間生活、文化的資産、生態系等）の喪失、災害の後に再建することができない被害を説明することができない。したがって、補償範囲の総合性という点において、IOSSモデルはGibbsのモデルより優れている。一方、Gibbsのアプローチは経済行動を結合しようと試みた点において注目に値する。

3. 3 市場型と非市場型の影響評価の研究

この種の研究は、市場が機能しないところまで影響が広がっていることを認識し、非市場型の影響を明示的に扱っている。このタイプの研究が用いるアプローチは、簡単な“what if”タイプのモデルから精緻な費用便益分析まで幅広く、この意味では前述の市場型モデルとそれほど変わらない。なお、前述のIOSSモデルは“what if”アプローチの一例である。

Funck [in Wind (1987)] は、海面上昇の影響に対して、①海岸保護による土地救済、②土地放棄、③①と②の複合型といった3つの対策を提案している。地域に適した解決策は、以下のことに安価なものが望まれるとしている。

- (A) 建設…土地が放棄される場合には、堤防の高上げ、住居や工場の移転（新しい場所での建設）等にかかる費用が少ないこと。なお、建設にかかる費用は機会費用ベースで計算する（すなわち、無駄な資源の場合には国民所得レベルにおける建設の支出効果を考慮する）。
- (B) 移住…土地が放棄される場合には、人々や企業の移住にかかる費用が少ないこと。
- (C) 土地や生産（特に農業生産）の損失が少ないこと。
- (D) 環境変化や社会不安が少ないこと。

ここで、(A)～(C)の影響は金額で表現される。(D)の影響については社会的要因で表現されるが、それをどのように評価するのかについては不明である。

Nordhaus (1991), Cline (1992), およびFankhauser (1992) は、アメリカを対象とした地球温暖化の被害額を計測した。いずれの研究も、CO₂の大気中濃度が産業革命以前のレベルの2倍になった場合（すなわち、2025年までに平均2.5℃の温度上昇、2100年までに約0.5～1mの海面上昇があると仮定）に発生する被害額を計測の対象としている。また、1988年のアメリカGNPに相当する規模で経済活動が行われていると想定し、この経済状態における被害額を1988年価格で推定している。これらの研究における評価項目と評価方法を以下に整理する[Fankhauser (1992)]。

- (A) 海岸の防御…堤防の建設費を割引率0～3%で年費用に換算。
- (B) 土地の喪失…失った土地の価格を割引率10%で年費用に換算。
- (C) 干潟の喪失…失った干潟の価格を割引率10%で年費用に換算。
- (D) 生態の喪失…利用価値と非利用価値（オプション価値、存在価値等）の合計。存在価値は年間5～15ドル/人、利用価値とオプション価値の合計は存在価値の半分とし、アクセスによって重みをつける。
- (E) 農業…農業生産性の変化およびそれに伴う農作物価格の変化による消費者余剰・生産者余剰の減少分。
- (F) 林業…林業生産性の変化およびそれに伴う木材価格の変化による消費者余剰・生産者余剰の減少分。

- (G) 漁業…干潟喪失による沿岸漁獲高の減少分。価格の変化なしと仮定。
- (H) エネルギー…冷暖房費用の増加分 [Nordhaus and Cline]。一方、Fankhauserは、冷暖房費用の変化は家計・企業の支出構造の変化にすぎないので、空調によって効用が変化しないならば、被害ゼロとした（なお、効用の変化は快適性の項で計測）。
- (I) 水資源…利用可能水量の減少分。なお、水の価値は8～20セント/ m^3 [Cline] あるいは42セント/ m^3 [Fankhauser]。
- (J) レクリエーション…スキー場の閉鎖による消費者余剰の減少分 [Cline]。
- (K) 快適性…電力需要の増加分 [Fankhauser]。結局、NordhausとClineによるエネルギーの項に相当。
- (L) 健康…病気発生率の増大による死亡者数の増加分。なお、人命の価値は60万ドル/人 [Cline] あるいは150万ドル/人 [Fankhauser]。
- (M) 大気汚染… NO_x および SO_x 濃度の上昇による被害額。なお、 NO_x および SO_x による被害額の原単位は、それぞれ5ドル/kgおよび2.5ドル/kg。
- (N) 移住…移民の増加による政府支出の増加分。なお、移民に対する政府支出（社会福祉や施設の費用－納税額）の原単位は4,500ドル/人 [Cline and Fankhauser]。
- (O) 自然災害…ハリケーンの強大化による人的・物的被害の増加分。
- (P) その他…降雨量の増加に対処するための社会資本整備費用の増加分 [Cline]。

3つの研究において、項目別の被害額には差異がみられるが、総額としてはいずれの計測値もほぼ一致しており、アメリカGNPの1～2%の範囲にあることが示されている。

この種の研究で問題とされるのは、市場価格をもたない財（例えば、環境質のようなもの）の価値をいかにして貨幣価値で評価するかである。これに対して、現在提案されている評価手法には、再生費用法 [EPA (1985)]，回避費用法 [Dickie et al. (1991)]，旅行費用法 [Willis and Benson (1988)]，資産価値法 [Willis and Garrod (1991)]，労働賃金法 [Marin and Psacharopoulos (1982)]，仮想金銭化法 [Mitchell and Carson (1989)] などがある。これらの評価手法はそれぞれ簡便性を有しているが、その反面、方法論的問題も抱えており、今後の研究が期待される。

4. おわりに

本稿では、地球温暖化問題のうちで海面上昇を取り上げ、その対策の経済評価に関する最近の研究を簡単にレビューした。ここでは防御策に限定して議論を進めたが、地球温暖化対策の全体を理解するためには、 CO_2 の大幅削減、 CFC の使用禁止等の予防策についても注目しなければならない。また、地球温暖化対策の経済的影響評価において非市場型影響を除外して市場型影響のみを計測することも十分ではなく、それらを総合した評価手法が望まれる。

一方、海面上昇のような地球温暖化問題は地球全体に影響を及ぼすので、一国だけ、あるいは我々の世代だけが頑張ったところで解決できるような問題ではない。この問題に対する政策代替案の評価に際しては、現在の「一定の保護基準」のみならず、時間・空間を超えた社会的効率性・公平性評価基準によって幅広く検討されるべきである。

参考文献

- Cline, W.R. (1992), The Economics of Global Warming, Washington DC: Institute for International Economics.
- Coker, A.M., Thompson, P.M., Smith, D.I., and Penning-Rowsell, E.C. (1989), The Impact of Climate Change on Coastal Zone Management in Britain: A Preliminary Analysis.

- Delft Hydraulics (ed.) (1988), *Impact of Sea-Level Rise on Society, A Case Study for the Netherlands*.
- Delft Hydraulics (ed.) (1989), *Criteria for Assessing Vulnerability to Sea Level Rise: A Global Inventory for High Risk Areas*.
- Dickie, M., Gerking, S., and Agee, M. (1991), "Health Benefits of Persistent Micropollutant Control: the Case of Stratospheric Ozone Depletion and Skin Damage Risks", in: Opschoor, J.B. and Pearce, D.W. (eds.), *Persistent Pollutants: Economics and Policy*, Kluwer, Dordrecht.
- Elzen, M.G.J. Den and Rotmans, J. (1988), *Simulatiemodel Voor Een Aantal Maatschappelijke Gevolgen Van Het Broeikaseffect Voor Nederland*, RIVM.
- Environmental Protection Agency, United States (1985), *Costs and Benefits of Reducing Lead in Gasoline: Final Regulatory Impact Analysis*, EPA-230-05-85-006, Washington DC.
- Fankhauser, S. (1992), *The Economic Costs of Global Warming: Some Monetary Estimates*, International Workshop on Costs, Impacts and Possible Benefits of CO₂ Mitigation, IIASA, Laxenburg, Austria.
- Gibbs, M.J. (1984), "Economic Analysis of Sea Level Rise: Methods and Results", in: Barth, M.C., Titus, J.G. (eds.), *Greenhouse Effect and Sea Level Rise, A Challenge for this Generation*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Hekstra, G. (1986), "Will Climate Change Flood the Netherlands? Effects on Agriculture, Land-Use and Well-Being", *Ambio*, Vol.15, No.6, pp.316-326.
- Hekstra, G.P. (1989), "Global Warming and Rising Sea Levels: The Policy Implications", *The Ecologist*, Vol.19, No.1, pp.4-15.
- Marin, A. and Psacharopoulos, G. (1982), "The Reward for Risk in the Labor Market: Evidence from the United Kingdom and a Reconciliation with Other Studies", *Journal of Political Economy*, Vol.90.
- Mitchell, R. and Carson, R. (1989), *Using Surveys to Value Public Goods: the Contingent Valuation Method*, Resources for the Future, Washington DC.
- Nordhaus, W.D. (1991), "To Slow or not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect", *Economic Journal*, Vol.101, No.407, pp.920-937.
- Smith, J.B. and Tirpak, D.A. (1988), *The Potential Effect of Global Climate Change on the United States*, United States Environmental Protection Agency (ed.).
- Stokoe, P.K. and Leblanc, M. (1987), *Socio-Economic Assessment of the Physical and Ecological Impacts of Climate Change on the Marine Environment of the Atlantic Region of Canada*, School for Resource and Environmental Studies, Dalhousie University, Canada.
- Vellonga, P. (1987), "Sea Level Rise, Consequences and Policies", in: Schroder, P.C. (ed.), *Sea Level Rise, A Selective Retrospection*.
- Willis, K.G. and Benson, J.F. (1988), "Valuation of Wildlife: a Case Study on the Upper Teesdale Site of Special Scientific Interest and Comparison of Methods in Environmental Economics", in: Turner, R.K. (ed.), *Sustainable Environmental Management: Principles and Practice*, Belhaven Press.
- Willis, K.G. and Garrod, G.D. (1991), *The Hedonic Price Method and the Valuation of Countryside Characteristics*, ESRC Countryside Change Initiative Working Paper 14.
- Wind, H.G. (ed.) (1987), *Impact of Sea Level Rise on Society*, A.A. Balkema, Rotterdam.