

伊勢湾地域における海面上昇による経済損失の計測

Measurement of Economic Loss due to Sea Level Rise in Ise Bay Area

落合鋭充*・大洞久佳*・大野栄治**

Toshimichi OCHIAI*, Hisayoshi OHORA* and Eiji OHNO**

ABSTRACT: This study measures the direct and the spread economic loss due to sea level rise in Ise Bay Area. The direct economic loss, which is measured by the product of each industry in the area under the sea level due to 1m of sea level rise, is about 7.1 trillion yen every year. On the other hand, in order to measure the spread economic loss, a social economic model is constructed as the CGE (computable general equilibrium) model based on the 1km mesh data in GIS (geographic information systems). As the result, the spread economic loss, which is measured by the product loss of each industry due to 1m of sea level rise, is about 9.1 trillion yen every year. The spread damage is about 1.3 times as large as the direct damage.

KEYWORDS: CGE, GIS, Economic Loss, Sea Level Rise, Ise Bay Area

1 はじめに

今日、世界中で地球環境問題が大きな話題となっているが、特に地球温暖化による海面上昇の問題は深刻である。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）によれば、今後100年間に全球平均海面が約88cm上昇すると予測されている。もしこの予測通りに海面が上昇すると、小島嶼国では国土の多く（あるいは全国土）を失う恐れがある。小島嶼国の中には、既に水没の兆候が見られるため、国民を周辺諸国に移住させる計画を発表した国もある。また、小島嶼国でなくても、世界の都市部は沿岸域に集中しているため、海面上昇による影響が甚大であることは容易に予想される。

このような海面上昇問題への対応（例えば、築堤などの社会基盤整備）を考える上で、海面上昇による影響の経済評価は政策の重要な判断材料となるため、これまでに多くの調査・研究が行われてきた。それらの研究は、①直接的な被害費用および対策費用に関する研究、②市場型の影響（市場が存在する財やサービスの生産と消費への影響）を考慮した被害費用に関する研究、③非市場型の影響（市場が存在しない財やサービスの生産と消費への影響）を考慮した被害費用に関する研究、の3つに大別される。本研究は、②（市場型の研究）に位置付けられる。

当該分野の既存研究として、上田らの研究¹⁾と大野の研究²⁾が挙げられる。上田らは、一般均衡理論の枠組みで社会経済モデルを構築し、これを用いてバングラデシュにおける海面上昇による被害額を計測した。しかし、モデル構築において地域区分と産業区分が連動しているなど、社会経済状況のデフォルメ（変形）が著しいので、現実社会との乖離が問題である。また、大野は、上田らの研究を基礎として、地域区分と産

*名城大学大学院都市情報学研究科(Graduate School of Urban Science, Meijo Univ.)

**名城大学都市情報学部(Faculty of Urban Science, Meijo Univ.)

業区分を複合化した擬似SCGE（多地域応用一般均衡）モデルを構築し、タイにおける海面上昇による被害額を計測した。しかし、当該国では分析に必要な統計データが十分に整備されておらず、入手可能なデータに合わせてモデルを構築しているため、上田らの研究と同様に現実社会との乖離が問題である。

一方、近年の日本ではGIS（地理情報システム）データの整備が進み、GISデータが社会経済分析に活用されるようになってきている。例えば、高木らの研究³⁾が挙げられる。また、先行研究⁴⁾では、標高データと土地利用データ（いずれも数値地図）を重ね合わせて海面上昇による土地利用別損失面積を計測し、それに各土地利用別の資産価値を掛け合わせることで損失額を計測した。

本研究では、GISデータに基づく社会経済モデルを構築し、伊勢湾地域を分析対象地域として海面上昇1mによる産業別生産損失額を計測する。

2 分析対象地域

本研究では伊勢湾の周辺地域（愛知県西部、三重県北部、および岐阜県の一部）を分析対象地域とし、海面上昇1mによって海面下になる地域を図1に示す。ここで、当該地域（のみならず日本の沿岸域）は堤防などによって護られているが、海面上昇に対する築堤などの重要性を示すために、護岸工事がなされていない場合を想定した。また、IPCCによる今後100年間の海面上昇の予測値は約88cmであるが、本研究で使用した伊勢湾周辺地域の標高データ（数値地図50mメッシュ標高⁵⁾）は1m単位で表示されているため、88cmに最も近い1mの海面上昇を想定した。その結果、海面上昇1mによって海面下になる地域の総面積は約459.95km²であることがわかった。



図1 海面上昇1mによって海面下になる地域（陰影部）

3 海面上昇による直接被害の計測

3.1 直接被害の計測方法

ここでは、標高1m以下の地域での生産額が海面上昇1mによって失われると仮定し、これを海面上昇による直接被害と定義した。そして、50mメッシュの標高データ⁵⁾と1kmメッシュの産業別就業者データ（事業所・企業統計調査⁶⁾）を重ね合わせて海面下になる地域での産業別就業者分布図を作成し、これに就業者一人当たりの産業別生産額^{7) 8) 9)}（表1）を掛け合わせて被害額を算出した。なお、産業区分は表1に示すとおりの12産業（農林水産業、鉱業、建設業、製造業、電気・ガス・水道業、商業、金融・保険業、不動産

業、運輸業、通信・放送業、公務、サービス業)とした。

また、標高データは50mメッシュで計測されているのに対して、産業別就業者データは1kmメッシュで計測されている。これらのデータを重ね合わせる際にはメッシュの大きさを合わせる必要がある。このとき、海面下にならない地域でも、海面が目前に迫っていれば塩水遡上や高潮災害などの問題によって生産活動が困難になると考えられる。そこで、海面上昇による直接被害の計測は産業別就業者データの1kmメッシュに合わせて行なうこととし、1メッシュに含まれる400個の標高データのうち1個でも1m以下となればそのメッシュは生産活動が困難になるとした。この場合、海面下になる地域の総面積は約1,378km²となり、図1に示す面積よりかなり大きくなる。

表1 就業者一人当たりの産業別生産額

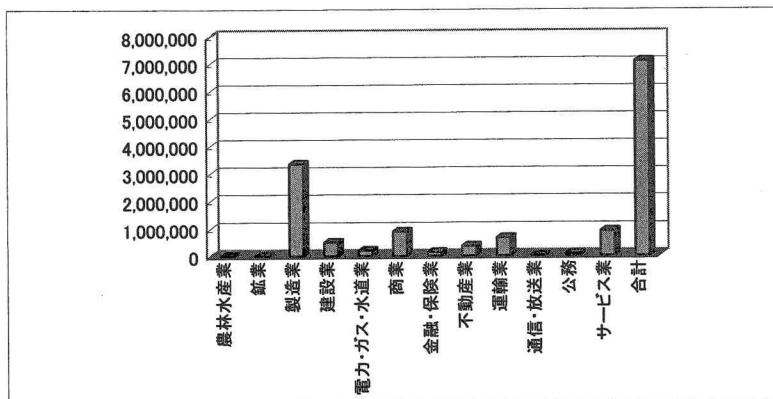
産 業	農林水産業	鉱 業	製造業	建設業	電力・ガス・水道業	商 業
生産額	3.783	31.41	25.76	13.32	52.51	73.34
産 業	金融・保険業	不動産業	運輸業	通信・放送業	公 務	サービス業
生産額	13.79	96.23	16.83	30.47	13.05	9.499

(単位：百万円/人)

3.2 直接被害の計測結果

海面上昇1mによる直接被害の計測結果を図2に示す。全産業の生産損失額は約7.1兆円/年に上ることがわかる。産業別に見ると、製造業の生産損失額が最も大きく(約3.3兆円/年)、次いでサービス業(約0.9兆円/年)、商業(約0.8兆円/年)の順であることがわかる。

しかし、この計測方法では「ある日突然に海面が1m上昇する」と仮定しており、現実的な被害とは言えないであろう。海面上昇は徐々に進行するため、産業の生産活動の場も徐々に内陸部へ移動していくことが予想される。次節では、このような内陸部への波及被害の計測を行なう。



(単位：百万円/年)

図2 海面上昇1mによる産業別生産損失額(直接被害)

4 海面上昇による波及被害の計測

4.1 波及被害の計測方法

地球温暖化によって海面が一気に上昇するのではなく、徐々に上昇するであろう。したがって、図1に示

された海面下になる地域での生産活動は一瞬のうちに消滅するのではなく、徐々に内陸部へ移動すると考えられる。そして、海面下にならない地域においても、市場メカニズムを通じて、被害が発生することも予想される。

ここでは、1kmメッシュデータに対応した社会経済モデルを構築して、応用一般均衡分析によって海面上昇1mによる波及被害を計測する。なお、海面上昇1mによって海面下になるメッシュからの産業と家計（労働者）の撤退を入力データ、また市場メカニズムを通じて変化するメッシュ別・産業別の生産額などを出力データとし、海面上昇による生産額の減少分を波及被害として評価する。

4.2 社会経済モデルの仮定

本研究では、以下の仮定を置く。

- 1) 伊勢湾地域の地理的空間は、1kmメッシュで分割される。なお、同一メッシュ内は均一空間とする。
- 2) 各メッシュの産業は、産業基本分類に従って分類される。
- 3) 経済主体は、メッシュ間を自由に移動する（従業地を変える）ことのできる家計（労働者）、各メッシュに立地する各産業、および各メッシュに立地する不在地主とする。
- 4) 市場は、合成財市場、労働市場、土地市場、および資本市場とする。
- 5) 家計（労働者）は、達成される効用水準の高いメッシュに居住する。なお、その効用水準は予算制下での効用最大化行動の結果として得られる間接効用関数によって与えられる。
- 6) 各産業は、生産技術制約の下で利潤を最大化するように行動する。
- 7) 不在地主は、家計および各産業から地代収入を得ている。なお、不在地主は各メッシュにおける家計の融合体として捉えられる。

4.3 家計（労働者）の行動モデル

家計（労働者）の居住地選択行動を次のように定式化する。

$$P_{j,j^*} = \begin{cases} 1 & : V_{j,j^*} = \max_{j^{**}} V_{j,j^{**}} \text{ のとき} \\ 0 & : V_{j,j^*} \neq \max_{j^{**}} V_{j,j^{**}} \text{ のとき} \end{cases} \quad (1.1)$$

$$V_{j,j^*} = a_1 \ln[A_j] + a_2 \ln[B_j] + a_3 C_{j,j^*} \quad (1.2)$$

$$A_j = \frac{\sum_i N_j^i I_j^i}{N_j}, \quad B_j = \frac{\sum_i L_j^i R_j^i}{L_j}, \quad I_j^i = Y_j + W^i + H^i k_j^i - B_j l_j \quad (1.3) (1.4) (1.5)$$

ただし、 P_{j,j^*} ：メッシュ j^* の労働者がメッシュ j に移動する（従業地を変える）確率、 V_{j,j^*} ：メッシュ j^* の労働者がメッシュ j に移動する（従業地を変える）場合の間接効用水準、 A_j ：メッシュ j の平均可処分所得、 B_j ：メッシュ j の平均地代、 C_{j,j^*} ：メッシュ j^* からメッシュ j への住み替え費用（直線距離）、 N_j^i ：メッシュ j ・産業 i に従事する労働者数、 N_j ：メッシュ j の労働者数、 I_j^i ：メッシュ j ・産業 i に従事する労働者の可処分所得、 L_j^i ：メッシュ j ・産業 i が使用する土地面積、 L_j ：メッシュ j の土地面積（存在量）、 R_j^i ：メッシュ j ・産業 i の地代、 Y_j ：メッシュ j の労働者の不労収入（不在地主としての収入）、 W^i ：産業 i に従事する労働者の労働収入、 H^i ：産業 i の資本レント、 k_j^i ：メッシュ j ・産業 i の資本保有量、 l_j ：メッシュ j の労働者の土地需要量、 a_1, a_2, a_3 ：未知のパラメータ。

なお、式(1.2)のパラメータについては、近年の労働者分布の変動より統計的に推定されるが、本研究ではとりあえず既存研究²⁾の数値を参考にして設定した。

また、式(1.1)より、各地域の労働者数は次式で与えられる。

$$N_j^i = \sum_j P_{j,j} \cdot N_j^i \quad (1.6)$$

4.4 産業の行動モデル

産業の利潤最大化行動を次のように定式化する。

$$\pi_j^i = \max_{X_j^i, N_j^i, L_j^i, K_j^i} \{P^i X_j^i - W^i N_j^i - R_j^i L_j^i - H^i K_j^i\} \quad (2.1)$$

$$st. X_j^i = m^i N_j^i \alpha^i L_j^{\beta^i} K_j^{\gamma^i} \quad (2.2)$$

ただし、 π_j^i ：メッシュ j・産業 i の利潤、 P^i ：産業 i の製品（合成財）の価格、 X_j^i ：メッシュ j・産業 i の製品（合成財）の生産量、 W^i ：産業 i の賃金率、 N_j^i ：メッシュ j・産業 i の労働需要量、 R_j^i ：メッシュ j・産業 i の地代、 L_j^i ：メッシュ j・産業 i の土地需要量、 H^i ：産業 i の資本レント、 K_j^i ：メッシュ j・産業 i の資本投入量、 $m^i, \alpha^i, \beta^i, \gamma^i$ ：未知のパラメータ。

なお、式(2.2)のパラメータについては、次式で与えられる。

$$m^i = \frac{X^i}{N^{\alpha^i} L^{\beta^i} K^{\gamma^i}}, \quad \alpha^i = \frac{W^i N^i}{P^i X^i}, \quad \beta^i = \frac{R^i L^i}{P^i X^i}, \quad \gamma^i = \frac{H^i K^i}{P^i X^i} \quad (2.3) (2.4) (2.5) (2.6)$$

式(2.3)～(2.6)の各変数には現在の社会経済データ^{7) 8) 9)}を適用し、現状を完全に再現できるような社会経済モデルを構築する。

4.5 不在地主の行動モデル

不在地主は、家計および各産業から地代収入を得ている。

$$\sum_i N_j^i Y_j = \sum_i N_j^i B_j L_j + \sum_i R_j^i L_j \quad (3)$$

4.6 市場の条件

本研究の社会経済モデルは、以下のような市場の条件を考慮する。

$$(1) \text{ 合成財市場均衡条件: } \sum_i \sum_j N_j^i I_j^i = \sum_i \sum_j P_j^i X_j^i \quad (4.1)$$

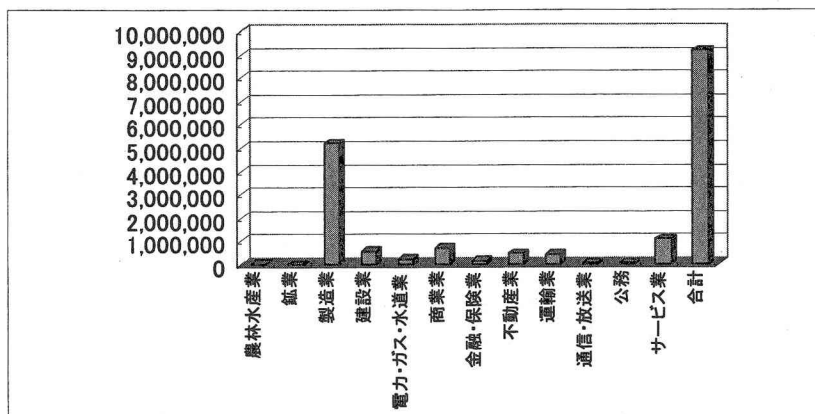
$$(2) \text{ 労働市場均衡条件: } \sum_i N_j^i = N_j \quad (4.2)$$

$$(3) \text{ 土地市場均衡条件: } \sum_i L_j^i = L_j \text{ (土地存在量)} \quad (4.3)$$

$$(4) \text{ 資本市場均衡条件: } \sum_i \sum_j K_j^i = \sum_i \sum_j N_j^i k_j^i \quad (4.4)$$

4.7 波及被害の計測結果

海面上昇 1m による波及被害の計測結果を図 3 に示す。全産業の生産損失額は約 9.1 兆円/年となり、直接被害の約 1.3 倍の大きさであることがわかる。また、産業別に見ると、製造業では約 5.2 兆円/年、サービス業では約 1.1 兆円/年、商業では約 0.7 兆円/年となり、直接被害の場合の順位と同じであることがわかる。なお、県別に見ると、海に面した愛知県と三重県では甚大な被害が生じる一方で、内陸部に位置する岐阜県では、生産額が増加する産業もあるため、ほとんど被害が生じないことがわかった。



（単位：百万円）

図3 海面上昇1mによる産業別生産損失額（波及被害）

5 おわりに

本研究では、伊勢湾の周辺地域（愛知県西部、三重県北部、および岐阜県の一部）における海面上昇1mによる直接被害と波及被害を計測した。直接被害については、GISを用いて海面下になる地域での産業別生産損失額を計測した。その結果、約7.1兆円/年の直接被害が生じることがわかった。波及被害については、1kmメッシュデータに対応した社会経済モデルを構築し、応用一般均衡分析によって海面上昇による産業別生産損失額を計測した。その結果、波及被害は約9.1兆円/年となり、直接被害の約1.3倍の大きさであることがわかった。また、産業別に見ると、製造業の被害が最も大きいことがわかった。

しかし、本研究の社会経済モデルにはいくつかの問題がある。具体的には、①労働者の移動に対して土地利用規制が考慮されていないこと、②市場が伊勢湾地域（図1の地域）で閉じていること、③モデルが静的であること、などである。これらの問題の解決は、今後の研究課題としたい。

参考文献

- 1) Ueda, T., Morisugi, H. and Asma, S.: A Macroeconomic Model for Damage Evaluation of Sea Level Rise for Developing Countries, *Proceedings of Infrastructure Planning*, 19(1), pp.375-378, 1996.
- 2) 大野栄治：海面上昇による土地損失の影響の経済評価（タイの場合），環境システム研究論文集，28，pp.445-452，2000.
- 3) 高木朗義・武藤慎一・村松穂高：GISデータベースに基づいた水環境保全策の経済評価手法の開発，環境システム研究論文集，30，pp.161-169，2002.
- 4) 落合鋭充・大洞久佳・大野栄治：海面上昇による沿岸域の経済損失とその波及被害の計測，土木計画学研究・講演集，26，CD-ROM，2002.
- 5) 国土地理院：数値地図50mメッシュ（標高）日本Ⅱ，1997.
- 6) 統計情報研究開発センター：事業所・企業統計調査，1996.
- 7) 愛知県：愛知県産業連関表（13部門表），1995.
- 8) 岐阜県：岐阜県産業連関表（13部門表），1995.
- 9) 三重県：愛知県産業連関表（13部門表），1995.