

# 地球温暖化適応策としての社会資本整備に関する一考察\*

## A Study on Infrastructure as Adaptation Policy to Global Warming.\*

中嶋 一憲\*\*・林山 泰久\*\*\*

By Kazunori NAKAJIMA\*\*・Yasuhisa HAYASHIYAMA\*\*\*

### 1. 本研究の背景と目的

近年、地球温暖化対策の研究分野において、社会経済活動から排出される温室効果ガスの排出削減・吸収増大により、大気中の温室効果ガス(Greenhouse Gas, 以下GHG)濃度の上昇を抑えることを通じて、温暖化の進行を抑制する緩和策(Mitigation)だけでなく、生活・行動様式の変更や防災投資の増加といった自然・社会システムの調節を通じて温暖化の悪影響を軽減する適応策(Adaptation)の重要性に対する認識が急速に高まりつつある。これまで地球温暖化対策として緩和策が先行的に取り扱われ、Nordhaus and Boyer (2000)<sup>1)</sup>によるDICE/RICEモデルに代表される統合評価モデルを用いた研究成果においても、緩和策の効果に関する分析が主流であった。この理由として、緩和策は気候変動による影響項目への影響を同時に軽減することが可能であるのに対して、適応策は限定的な影響項目にしか効果がないことが挙げられる。しかしながら、松岡(2005)<sup>2)</sup>は温暖化の危険な水準とGHG安定化レベルに関するレビューを通じて、「産業革命以前と比べて、全球平均気温の上昇が2以上になるとときには重篤な影響を及ぼす」ことを挙げ、また脇岡(2005)<sup>3)</sup>は気温上昇の閾値を2と設定した場合、GHG濃度は475ppm以下に抑える必要があるとしている。このことから、GHG削減努力を最大限行ったとしても地球温暖化を完全に抑制することは不可能であり、何らかの温暖化影響が発現した場合、それに対する適応能力を向上させるための取組や適応策の効果に関する研究が、緊急課題であることが多くの政策立案者に理解されるようになった。

表-1は地球温暖化により予想される影響項目とその適応策の例を示している。ここから社会資本整備が適応策としての役割を担うことが分かる。例えば、わが国

における適応策としての社会資本整備は、海面上昇対策および洪水・渇水対策が挙げられる。これらはいずれも防災対策を主眼としたものであるが、これらの社会資本整備を温暖化被害の軽減を通じて生産に間接的に寄与する適応策として捉えることにより、適応策の効果の定量評価が可能となると考えられ、また中長期的な政策立案のために必要であると考えられる。

表-1 地球温暖化によって予想される影響と適応策

予想される影響項目	適応措置の例
・洪水被害 ・干ばつ被害 ・農作物生産量の増減	・ダム、堤防、ため池の建設・強化 ・植林による土壌の水吸収機能の強化 ・植付け、収穫の管理時期の変更 ・品種改良、土壌改善
・人間の健康への影響 (マラリア等伝染病の感染地域拡大) ・保険費用の増大	・病院等医療施設の充実 ・伝染病予防接種の対処地域拡大 ・再保険等のリスク分散

本研究では、防災対策を含む社会資本に着目し、わが国の社会資本を生産に直接的に寄与する産業型社会資本と温暖化の被害軽減を通じて間接的に生産に寄与する国土保全型社会資本に分類することにより、国土保全型社会資本を温暖化被害に対する適応策として捉える。これまで社会資本の生産性を計測する研究は数多く蓄積されてきた。江尻・奥村・小林(2001)<sup>4)</sup>は社会資本の生産性効果に関する研究のレビューを詳細に行っている。大河原・山野(1995)<sup>5)</sup>は社会資本の生産力効果を計測し、社会資本が地域の生産活動にどの程度貢献しているかを分析している。塚井ら(2002)<sup>6)</sup>は地域間スピルオーバーを考慮した社会資本の生産性を計測している。これらの研究はいずれも社会資本が生産に直接影響を及ぼす効果を測定しており、間接的な効果は考慮していない。また、温暖化被害に対する適応策としての社会資本の生産性を分析した研究は筆者らの知る限りは未だない。

そこで本研究では、温暖化被害に対する適応策としての社会資本を生産要素に考慮した生産関数を推定することにより、国土保全型社会資本が温暖化被害の軽減を通じて、わが国の生産性に及ぼす影響を計測することを目的とする。

### 2. モデルの定式化

#### (1) 社会資本の分類

本研究では、社会資本を産業型社会資本と国土保全

\*キーワード：環境計画，地球環境問題

\*\*非会員、工修、東北大学大学院環境科学研究科

(宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-20、TEL022-222-2222、E-mail: nakajima@fecsun.kankyo.tohoku.ac.jp)

\*\*\*正会員、工博、東北大学大学院経済学研究科

(宮城県仙台市青葉区川内 27-1、TEL022-795-6317)

型社会資本の2つに分類する。産業型社会資本は道路、交通、上下水道、電気・ガスといった直接的に生産に寄与するものであり、一方、国土保全型社会資本は温暖化被害を軽減するだけでなくこれまでの防災機能をもった社会資本であり、被害の軽減を通じて生産に間接的に寄与するもの、とそれぞれ定義する。表-2に電中研社会資本ストックデータ<sup>7)</sup>における4目的別区分、12目的別区分に対応する本研究の社会資本の分類を示す。

表-2 社会資本の分類

4目的別区分	12目的別区分	本研究における区分
農林水産基盤	農林漁業施設	産業型社会資本
産業基盤	道路(国道)	
	道路(公団等)	
	港湾・空港	
運輸・通信基盤	国鉄・電電公社 鉄道・郵便業	国土保全型社会資本
生活基盤	道路(市町村道)	
	都市公園・自然公園・下水道 上水道	
	社会保険・社会福祉施設・学校・病院	
推計対象外	一般行政資産	
	治山・治水施設	

## (2) モデル

初めに、わが国の $t$ 時点における生産関数を、生産投入要素として民間資本 $K(t)$ 、労働 $L(t)$ 、および社会資本 $G(t)$ を用いて式(1)のように仮定する。また本研究では、Cobb-Douglas型生産関数を仮定する。

$$Y(t) = A(t)K(t)^{\beta_K} L(t)^{\beta_L} G(t)^{\beta_G} \quad (1)$$

ここで、 $Y(t)$ は生産量、 $A(t)$ はHicks中立的な技術係数を示す。塚井ら(2002)<sup>6)</sup>は、Cobb-Douglas型生産関数の限界として、生産要素間の代替・補完関係を柔軟に表現できないことを挙げ、Nested-CES生産関数やTranslog型生産関数を用いて社会資本の生産性を多面的に検討する必要があることを指摘している。しかしながら、本研究において推計される生産関数は、中島・林山・森杉(2006)<sup>8)</sup>において構築された温暖化モデルを拡張する際に用いることを想定しており、できる限り単純化した生産関数が求められるため、生産要素間の代替・補完関係の問題は本研究では扱わず、多くの既存研究同様にCobb-Douglas型生産関数を仮定する。

次に、気候変動による気温変化が生産に影響を及ぼす要因として捉えるために、気温変化を変数とした温暖化被害関数を定義する。 $t$ 時点において温暖化に伴う被害を表す被害関数 $g$ は、気温変化 $T(t)$ と生産量を用いて式(2)のように定義する。

$$D(t) = g(T(t)) \cdot Y(t) \quad (2)$$

ここで、 $D(t)$ は温暖化影響による生産量の損失分を示す。つまり、式(2)は生産量のある割合が温暖化による被害であることを表している。なお、 $\partial g / \partial T > 0$ で

ある。さらに、現実の生産量 $\hat{Y}(t)$ は、温暖化影響がない場合に得られるであろう実現可能な最大生産量 $Y(t)$ から、温暖化による生産量の損失分 $D(t)$ を引いたものに等しいと考えられ、式(3)として表すことができる。

$$\hat{Y}(t) = Y(t) - D(t) = (1 - g(T(t))) \cdot Y(t) \quad (3)$$

したがって、式(3)と式(1)を用いることにより、生産関数は式(4)として表すことができる。

$$\hat{Y}(t) = (1 - g(T(t))) \cdot A(t)K(t)^{\beta_K} L(t)^{\beta_L} G(t)^{\beta_G} \quad (4)$$

第3に、式(4)で示される生産関数の社会資本 $G(t)$ を、産業型社会資本 $G_p(t)$ と国土保全型社会資本 $G_c(t)$ に分割する。産業型社会資本は直接的に生産に寄与すると考えられるため、生産投入要素として導入することを仮定する。一方、国土保全型社会資本は気温変化に対する適応策としての効果を持つため、温暖化被害の軽減を通じて間接的に生産に寄与すると仮定する。これらを考慮すれば、式(4)は式(5)に改められる。

$$\hat{Y}(t) = (1 - g(T(t), G_c(t))) \cdot A(t)K(t)^{\beta_K} L(t)^{\beta_L} G(t)^{\beta_G} \quad (5)$$

ここで、国土保全型社会資本 $G_c(t)$ の整備によって、温暖化による被害は軽減するため、 $\partial g / \partial G_c < 0$ である。一方、産業型社会資本 $G_p(t)$ は生産投入要素と仮定していることから、 $\partial f / \partial G_p > 0$ である。このように式(5)を用いることによって、産業型社会資本のみならず、国土保全型社会資本を考慮した生産関数の推計が可能となると考えられる。さらに、このような生産関数を推計することにより、温暖化モデルを用いた温暖化影響に対する適応策の効果を評価することが可能となると考えられる。

## (3) 推定式の設定

推定すべき式(4)および式(5)には、被害関数 $g(T(t))$ が含まれているため、被害関数を定式化する。これまで温暖化研究分野で用いられてきた多くの統合評価モデルでは、温暖化被害は気温変化に依存するという理由から、損害関数として年平均気温変化の水準(Level)や割合(Rate)を変数とした1次から3次のべき乗関数が用いられてきた。Tol (1996)<sup>9)</sup>はどのような形状の損害関数を選択するかはad hocなこととし、時間を通じた気候変動による損害のプロファイルは、損害関数の変数に年平均気温変化の水準と割合のどちらを用いるかによって大きく異なることを主張している。これに対して、Peck and Teisberg (1994)<sup>10)</sup>は損害関数の変数よりも次数の選択が排出削減の正当性の観点から重要であると主張している。このように損害関数の変数や次数に関して議論があるものの、Nordhaus and Boyer (2000)<sup>1)</sup>によるDICE/RICEに代表されるいくつかの統合評価モデルにおいて、年平均気温変化の水準を変数とした2次の損害関数が用いられて

いる。本研究では、単純な 2 次関数  $g(T(t)) = \beta_T T^2$  を基本的な損害関数として、以下の生産関数を推定する。

$$Y(t) = (1 - \beta_T T^2) \cdot A(t) K^{\beta_K} L^{\beta_L} G^{\beta_G} \quad (6)$$

$$Y(t) = \left(1 - \beta_T \frac{T^2}{G_c}\right) \cdot A(t) K^{\beta_K} L^{\beta_L} G_p^{\beta_{Gp}} \quad (7)$$

$$Y(t) = \left(1 - \frac{\beta_T T^2}{G_c^{\beta_{Gc}}}\right) \cdot A(t) K^{\beta_K} L^{\beta_L} G^{\beta_G} \quad (8)$$

ここで  $\beta_i$  は各変数について推定されるパラメータを表す。式(6)において、気温変化と社会資本を導入した生産関数を推定する。次に式(7)で社会資本を 2 つに分割する。しかしながら、ここで推定されるパラメータ  $\beta_T$  は、気温変化と国土保全型社会資本とのどちらによる生産への影響なのか識別することができないため、式(8)において温暖化被害軽減を通じた国土保全型社会資本の生産への影響を計測する。なお、本研究では非線形回帰を用いて推定を行ったが、その解法の詳細に関しては、Venables and Ripley (1999)<sup>11)</sup>を参照されたい。

#### (4) データセット

表 - 3 に本研究で用いられるデータおよび各変数を示す。本研究では、1975 年から 2002 年までの生産額、就業者数、民間および社会資本ストック、気温に関するデータを用いる。民間および社会資本に関するデータは、都道府県単位で整備されているものを含めて、現在いくつか利用可能であるが、本研究では地域単位のデータだけでなく、部門単位で整備されたデータベースが必要であることから、電力中央研究所による民間および社会資本に関するデータを利用する。気温に関するデータは、地球環境研究総合推進費戦略研究 S-4 において、みずほ情報総合研究所より提供された都道府県別年平均集計データを用いる。ただし、この気温データは東京大学気候システム研究センター(CCSR)と国立環境研究所(NIES)によって開発された気候モデルを用いて計算されたものであるが、その気候再現性は高く評価されている。本研究では 1900 年を基準とした気温水準の偏差を用いる。

表 - 3 本研究での変数とデータ

変数	変数名	単位	データ出所
$Y$	実質総支出	一兆円 1995年価格	県民経済計算年報
$L$	就業者数	百万人	土居データ
$K$	民間資本ストック	一兆円 1995年価格	電中研民間企業資本ストックデータ
$G$	社会資本ストック	一兆円 1995年価格	電中研社会資本ストックデータ
$G_p$	産業型 社会資本ストック	一兆円 1995年価格	電中研社会資本ストックデータ
$G_c$	国土保全型 社会資本ストック	一兆円 1995年価格	電中研社会資本ストックデータ
$T$	気温		みずほ情報総合研究所

### 3. 実証分析

式(6)から式(8)の推計結果を表 - 4 から表 - 7 にそれぞれ示す。表 - 4 より、式(6)の生産関数において、就業者数の係数は 1% 有意水準で、社会資本ストックの係数は 5% 有意水準でそれぞれ有意である。しかしながら、就業者数の係数が 1 を大幅に越えることや民間資本ストックの係数が有意ではないものの負値を取ることを考慮すると、ここで推定された生産関数は経済学的に適当ではないと考えられる。さらに、技術を示す係数は有意ではないものの極めて小さい値を取るため、技術係数を除いて推定したところ、民間資本ストック、就業者数の係数はそれぞれ 10%、1% 有意水準で有意となった。

社会資本を分割した式(7)の推定結果は、表 - 5 より式(6)と同様の結果であることが分かる。社会資本ストックの係数は 5% 有意水準で約 0.6 の有意な値を取るが、このことは社会資本の生産性効果を計測した既存研究の値(概ね 0.3 ~ 0.3)と比較すると、大きな値であると言える。これは社会資本ストックと高い正の相関をもつ民間資本ストックの値が負値を取ることで原因であると考えられる。技術係数を除いた推定結果においても、式(6)の推定結果と同様の傾向が見て取れるが、ここでは気温変化の係数が 1% 水準で有意となっている。

表 - 6 より式(8)の推定結果を見ると、就業者数、国土保全型社会資本の係数がそれぞれ 1% 有意水準で有意である。就業者数の係数が 1 を超える値を取ることや係数のほとんどが有意でないという問題があるものの、国土保全型社会資本の係数が有意に正値であることから、国土保全型社会資本が気温変化による生産減少を抑え、間接的に生産力向上に貢献していることが示唆されると考えられる。技術係数を除いた結果を見ると、気温変化を除く全ての変数の係数が 1% 有意水準で有意となることが分かる。しかしながら、民間資本ストック、就業者数の係数が 1 を超えることや産業型社会資本の係数が負値であることから、さらなる検討が必要である。

表 - 7 は式(8)において、民間資本ストック、就業者数の係数を固定して、それぞれの係数を推定した結果である。ここでは民間資本ストック、就業者数の係数として、式(7)の技術係数を除いた結果を用いている。表 - 7 の結果から、どちらの場合においても、国土保全型社会資本の係数は 1% 有意水準で有意であり、式(8)の結果同様に、国土保全型社会資本が間接的に生産に正の影響を及ぼすことが示唆される。また、技術係数を除いた結果では、産業型社会資本の係数も 1% 有意水準で有意な正値を取るから、産業型社会資本が生産に正の効果を与えることが明らかになったと考えられる。気温変化の係数に関しては、式(7)の技術係数を除いた場合以外、有意に推定されなかったが、これは推定期間内の気温変

化が小さかったことが原因であると考えられる。

表 - 4 式(6)における係数の推定結果

変数	式(6)		式(6) 技術なし	
	係数	t値	係数	t値
$\beta_T$ : 気温変化	0.019	0.881	0.055	1.482
$A$ : 技術パラメータ	5.09E-06	0.623		
$\beta_K$ : 民間資本ストック	-0.269	-1.344	0.566	1.901
$\beta_L$ : 就業者数	3.824	8.739 ***	0.529	2.893 ***
$\beta_{\sigma}$ : 社会資本ストック	0.658	2.678 **	0.017	0.040

表 - 5 式(7)における係数の推定結果

変数	式(7)		式(7) 技術なし	
	係数	t値	係数	t値
$\beta_T$ : 気温変化	0.763	1.161	2.077	2.755 ***
$A$ : 技術パラメータ	7.55E-06	0.610		
$\beta_K$ : 民間資本ストック	-0.229	-1.177	0.507	1.832
$\beta_L$ : 就業者数	3.745	8.479 ***	0.499	3.484 ***
$\beta_{\sigma}$ : 産業型社会資本	0.614	2.525 **	0.044	0.113

表 - 6 式(8)における係数の推定結果

変数	式(8)		式(8) 技術なし	
	係数	t値	係数	t値
$\beta_T$ : 気温変化	3.46E+17	0.159	3.66E+16	0.243
$A$ : 技術パラメータ	3.84E-04	0.554		
$\beta_K$ : 民間資本ストック	0.421	1.703	1.287	6.591 ***
$\beta_L$ : 就業者数	3.003	6.987 ***	1.177	8.342 ***
$\beta_{\sigma}$ : 産業型社会資本	-0.207	-0.664	-1.168	-4.023 ***
$\beta_{\sigma}$ : 国土保全型	13.940	6.482 ***	13.007	9.311 ***

表 - 7 式(8)において係数を固定した場合の推定結果

変数	式(8) 係数固定		式(8) 係数固定 技術なし	
	係数	t値	係数	t値
$\beta_T$ : 気温変化	1.36E+13	0.145	3.48E+15	0.099
$A$ : 技術パラメータ	1.583	3.327 ***		
$\beta_K$ : 民間資本ストック				
$\beta_L$ : 就業者数				
$\beta_{\sigma}$ : 産業型社会資本	0.026	0.544	0.098	56.304 ***
$\beta_{\sigma}$ : 国土保全型	10.434	4.503 ***	12.375	3.613 ***

\*は1%有意水準, \*\*は5%有意水準, \*は10%有意水準

#### 4. おわりに

本研究では、温暖化被害に対する適応策としての社会資本を生産要素に考慮した生産関数の推定を行った。わが国の社会資本を生産に直接的に寄与する産業型社会資本と、間接的に寄与する国土保全型社会資本に分類することにより、国土保全型社会資本を温暖化被害に対する適応策として捉え、また気温変化を変数とした温暖化被害関数を生産関数に組み込むことにより、国土保全型社会資本が気温変化による温暖化被害の軽減を通じて、わが国の生産性へ及ぼす影響を計測した。その結果、国土保全型社会資本が温度変化による生産力減少を抑え、間接的に生産に貢献することを明らかにした。また、産業型社会資本が生産に及ぼす影響に関しても、限定的な場合ではあるが、生産に正の効果と及ぼすことが明らかにされた。しかしながら、本研究で得られた推定結果は、温暖化によるカタストロフ・リスク存在下での温暖化政策の費用便益分析と温暖化の被害推定を評価するためにこれまで筆者らが構築してきた温暖化モデルにおいて用いることを想定しているため、有意に推定された結果が

経済学的意味をもたないようなものや、推定値の有意性が低い係数が多いことを考慮すると、これらの結果を適用するためには、より詳細な検討が必要である。

本研究を通じて、今後の課題として以下のことが挙げられる。第1に、被害関数を気温変化の水準を変数とした単純な2次関数で定式化したが、被害関数の変数の問題を含めて、より多くの関数形を想定した推定が必要である。第2に、適応策の効果は地域限定的に波及するため、地域分割した国土保全型社会資本の効果と産業型社会資本のスピルオーバー効果を考慮しない推定結果は過小評価されるため、国土保全型社会資本の地域効果と産業型社会資本のスピルオーバーを同時に考慮したモデルの推定が必要である。

謝辞：本研究は、森杉壽芳を研究代表者とする地球環境研究総合推進費戦略研究S-4の助成を得たことを付記し、深甚の謝意を表する次第である。なお、本稿における誤りの全ては筆者らに帰することは言うまでもない。

#### 参考文献

- 1) Nordhaus, W.D. and Boyer, J.: Warming the World: Economic Models of Global Warming, The MIT Press, Cambridge, 2000.
- 2) 松岡謙：危険な気候変化のレベルと気候変動政策の長期目標，環境研究 No.138, pp.7-16, 2005.
- 3) 肱岡靖明：地球温暖化抑制のための温室効果ガス安定化レベルの検討，環境研究 No.138, pp.67-76, 2005.
- 4) 江尻良，奥村誠，小林潔司：社会資本の生産性と経済成長：研究展望，土木学会論文集，No.688/ -53, pp.75-87, 2001.
- 5) 大河原透，山野紀彦：社会資本の生産力効果：地域経済への影響分析，電力経済研究，No.34, pp.45-57, 1995.
- 6) 塚井誠人，江尻良，奥村誠，小林潔司：社会資本の生産性とスピルオーバー効果，土木学会論文集，No.716/ -57, pp.53-67, 2002.
- 7) 電力中央研究所：電中研社会資本ストックデータ，電中研民間企業資本ストックデータ。
- 8) 中嶋一憲，林山泰久，森杉壽芳：地球温暖化問題におけるカタストロフ・リスクによる長期的影響：動学モデルの数値解析による均衡解の性質，環境システム研究論文集，Vol.34, pp.123-134, 2006.
- 9) Tol, R.S.J.: The damage costs of climate change towards a dynamic representation, Ecological Economics 19, pp.67-90, 1996.
- 10) Peck, S.C. and Teisberg, T.J.: Optimal carbon emissions trajectories when damages depend on the rate or level of global warming, Climate Change, Vol.28, pp.289-314, 1994.
- 11) Venables, W.D. and Ripley, B.D.: Modern Applied Statistics with S-PLUS, Springer-Verlag New York, Inc., 1999.