The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | 日本と中国の植林事業による共同実施のシミュレーション分析 |
| Author(s) | 坂田, 裕輔 |
| Citation | 国際公共政策研究. 1997, 1(1), p. 189-199 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/12198 |
| rights | |
| Note | |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

# 日本と中国の植林事業による共同実施のシミュレーション分析

# A Simulation Analysis of Joint Implementation of Forestation Policy between Japan and China

坂田　裕輔*

Yusuke SAKATA*

A global warming problem is a serious problem. A lot of the research shows that we should reduce carbon emission. We need to consider the absorption of carbons when reducing carbons are almost impossible. There is no practical way to remove carbons from the atmosphere except forestation. In this paper, the effectiveness of the forestaion is shown using a simulation model. The simulation purposes are to simulate bilateral cooperation between Japan and China facing the carbon limit. The simulation result shows the cost is quite high but much less than the loss of no cooperation policy under the same carbon limit.

Keywords : environment, carbon, global warming, joint implementation

*大阪大学大学院国際公共政策研究科　博士後期課程

## Ⅰ．はじめに

アジア地域は、世界の成長センターとして著しい成長を遂げているが、それに伴い二酸化炭素の排出量も増加の一途にある。推計によると、アジア地域の日本を除く各国の排出量は、年率5%を越える水準で増加している。これは、アジア経済が1980年代に離陸したことと一致しており、今後もこの地域で予想される高い経済成長の持続によって、二酸化炭素排出量も大幅に増加することは確実である。その結果、世界全体の二酸化炭素排出に占めるアジア地域の比重は21世紀の半ばまでに著しく増加すると考えられている。

その意味で、地球温暖化を防止するための国際的な合意形成の可能性は、アジア各国の動向が大きく左右する。とりわけ、アジアの二酸化炭素排出量の70%を日本と中国が占めていることを考慮すれば、近接して位置する上に、発展段階の異なる両国は注目に値する。現状では、中国の二酸化炭素総排出量が日本の2倍であるのに対して、一人当たり排出量でみれば1／5程度である。したがって、中国が日本と同程度の経済水準を達成すれば、総排出量は日本の10倍程度になることを意味する。すなわち、地球環境問題についての二つの極にある日本と中国を分析対象とすることは、国際的な枠組が成立するかどうかを見極める上で重要である。

本論文では、日本と中国の地球環境問題についての協力の可能性の一つとして、中国における植林事業を、日本と中国が共同して実施することで、地球環境を保全し、さらに両国の経済にとっても望ましい政策となるかどうかを、シミュレーションによって評価する。二国間協力の実施対象として植林政策を対象としたのは、中国が植林政策を積極的に進めており、その規模は年間400万ヘクタールに達しているからである。中国が植林事業に積極的な理由は、土壌流出防止、防風林、砂漠緑化などの環境問題だけでなく、木材需要の急激な増大に対応する意味もある。

一方、広大な中国における植林事業が、二酸化炭素を吸収する有効な手段であることは明らかであるが、それを促進するための日本の役割についても再考する必要が生まれている。すなわち、最近の中国の経済発展に伴って、我が国にとってODA対象国とはなりにくくなっており、ODAとは異なる資金協力の論理が必要とされている。現在のところ、日本は中国へのODAとして、年間5,500万ドルの援助を行っているが、将来も継続して中国へ資金協力するには、開発援助ではなく、別な理由が必要とされる。植林事業への資金協力は、吸収される二酸化炭素を排出権として日本が受け取ることができるという意味で、対等の協力関係樹立に大きく貢献することが期待できる。

本報告では、植林事業についての日本と中国の協力関係をシミュレーションモデルで分析するために、Global2100（Manne, 1991）を用いる。このモデルは、地球環境を保全するための政策シュミレーションを行うために広く用いられており、他の研究結果との比較が容易に行える利点がある。ここでは、植林政策を明示的に導入し、植林がもたらす便益と、植林事業が必要とする費用を評価する。なお、日本と中国の二国間協力に視点を当てるために、それ以外の国や地域は、他の地域として一括して扱われる。

モデルにおいて、植林事業に日本が資金協力する見返りに、植林によって吸収される二酸化炭素の50%を、排出権として日本が得られることを前提としている。植林量の決定は、まず日本が必要とする二酸化炭素排出に見合う植林を中国に依頼する。この際、植林

面積・コストなどの制約が加わるため、日本の希望する植林量が、無限に増えることはない。すなわち、植林量が増大するにしたがって、その費用は逓増的に増加する。一方、中国は、植林量に応じた費用を日本から受け取るが、経済成長の原資として貢献するものの、土地利用についての制約を受けるために、便益が無限に拡大することはない。

## Ⅱ．シミュレーション分析の前提

シミュレーション分析では、3点について検討される。第一に、日本は、二酸化炭素排出抑制を国際公約としているが。それを実現する場合に、日本が中国と温暖化防止に関してを実行し、二酸化炭素の排出権を確保することで、日本の国内総生産の損失がどの程度避けられるかを明らかにする。すなわち、資金協力は費用負担であるが、協力の見返りにより生産可能量が増大することによる便益と比較検討する。第二に、共同実施により、中国においてどの程度の植林が行われるか、そのときの費用はどの程度になるか、それが実施可能なものであるかを検討する。最後に、植林事業を共同実施することで、両国のエネルギー構成がどのように変化するか、削減される二酸化炭素の量はどの程度かを検討する。

### 植林の費用

世界各地域の植林コスト・二酸化炭素吸収率・炭素トンあたりの単位費用は1ヘクタールあたり、約5トンである(岡田、1993)。なお、中国北部の大同県に植林を行なっているNGO「緑の地球」によれば、この地域でモンゴル松を植え、成木になるまでの5年間の管理費用を含めると、1ヘクタールあたり200ドルと見積もられている。

植林量が増えるにつれ、都市に近い地域など、より利用価値の高い土地に植林する必要が出てくる。そのため、植林費用は、総植林量の増大に従って上昇するから、上記の値は、初期費用と考えるべきである。さらに、植林量の増大に伴って、植林費用は逓増的に増加することが見込まれる。

### 炭素吸収率

森林の年間二酸化炭素吸収量は、熱帯雨林地域で5.5トン、寒冷地でも3.6トンである。熱帯雨林では、1ヘクタールあたり年間5.5トンである。森林の生長と二酸化炭素の吸収は、約30年に続くと考えられているが、その成長が止まっても、落ち葉として堆積したり、腐葉土が土中に蓄積されるため、少量であるが、炭素を吸収し続ける。

森林による二酸化炭素の吸収が植林後どの程度続くかについては、植林後10年から20年は、平均量の倍近い量を吸収すると考えられている。そこで、森林の寿命を30年とし、総吸収量を年平均吸収量の30倍とした。Global2100モデルでは、1期間は10年とされているから、吸収量を植林の直後を平均吸収量とし、10〜20年後は1.5倍、20年後は0.5倍とする。なお、中国は南北に長く位置し、南部に熱帯雨林地域を抱え、北部に寒冷地を抱えるため、森林の吸収量は、低めに見積もって、1ヘクタール当たり年間4トンとした。植林による二酸化炭素吸収量は、日本と中国の排出権として各々半分ずつ還元されるものとする。

### 植林可能面積

中国の木材需要は今後経済の成長とともに急増すると考えられている。これは、今後中国経済が成長するとみられていること、産業用材の一人当たり消費量は米国の40分の1であることから予測される。木材の輸入は

1981年から88年の間で70%も増加している。木材の伐採量は1978年から86年の間で25%増加している。現在、中国には1億7000万ヘクタールの森林が存在するが、2000年までにこのうちの70%で成木が消失するとみられている。こうした現状の下、中国政府は積極的に植林を進める計画をたてている。政府は木材需要を満たすためだけでなく、防風林としての役割も森林に期待している（ブラウン、1995)。

中国政府は1950年から80年までの30年間に1億3千万ヘクタールの植林を行っている。これは年間にして400万ヘクタールに上るが、このうち約3割程度しか生存（成功）していないといわれている。さらに、2000年までに国土の3割程度まで増やすという構想がある（Guogang, 1991)。国土の3割とは3億ヘクタールである。現状の森林面積は、1億7千万ヘクタール程度であるので、本報告では、最大植林可能面積を、国土の4割としている。ただし、2100年時点で残る森林はこれよりもいくらか少な目になると思われる。この理由はあとで述べる。

植林コストに関しては、植林可能面積を4割とした上で、モデル上で植林量がこの面積に近づくにつれ、急激に植林コストが上がるような状況を想定している。

## Ⅲ. 植林事業分析モデル

植林は中国で行われ、その資金は日本が提供する。また、中国における植林による二酸化炭素吸収という利益は、日本・中国の両国が得る。中国は植林による大気浄化・国土流出防止・防風などの追加的便益を得る。

モデルでは、各地域ごとに最適化を行うため、まず、日本の必要とする二酸化炭素吸収量を植林可能面積・植林コストを考えて決定する。次に、ここで与えられた二酸化炭素吸収量を中国に与え、中国は植林量を決定し、植林を実行するとともに、エネルギー配分を考慮しながら消費を最大化するような資源配分を決定する。このとき定められた二酸化炭素排出量の上限を越えないで消費を最大化するよう、コスト配分も決められる。

一方、植林量を目的関数にいれ、最大化する場合には、総植林量（WNの総和）を最大化する。森林からは、二酸化炭素吸収のみならず様々な利益が得られ、森林が成熟した（30年後）後にも、または、成熟した後こそこうした利益が得られるものと考えられるからである。

### モデルの構造

モデルでは、エネルギー部門のETAとマクロ部門のMACROの間に植林政策を導入した。具体的には、ETAとMACROを結びつける式、エネルギーコスト式（6)と二酸化炭素排出量の上限式（7)に、植林による共同実施政策を組み込んだ。エネルギーコストに植林費を加算し、二酸化炭素排出量の上限を二酸化炭素吸収で緩和した。日本からは植林量に応じた資金が中国に支払われ、中国からは、植林による吸収に応じた二酸化炭素の排出権が日本に引き渡される。

Global2100に植林政策を導入するために、次の各式を追加した。

### 二酸化炭素吸収量

$$W_{t+1} = WN_t + 1.5WN_{t-1} + 0.5WN_{t-2} \quad \ldots(1)$$

$W_t$：森林の二酸化炭素吸収量

$WN_t$：新規植林量

(1)式によれば、森林は、植林して10年後から30年間、二酸化炭素を吸収し続けるこ

とになる。

**総植林量**

$$SW_{t+1} = WN_t + SW_t \quad ....(2)$$

$SW_t$：総植林量

総植林量は、現在の森林の量約1.7億ヘクタールとあわせ、合計で4億ヘクタール程度になるように上限を設定する。4億ヘクタールは中国の国土面積の約4割である。しかし、実際には2100年時点で国土面積の4割に植林が行われるわけでは必ずしもない。二酸化炭素の吸収期間が過ぎた森林で森林の更新が行われ、同じ場所で2度二酸化炭素の吸収を行うことも可能であるからである。この際の二酸化炭素放出はモデル中の資源の直接利用として二酸化炭素排出量に組み込まれている。なお、植林量は、中国に関しては外生的に決定される。

**植林量の上限**

$$WN_t \leq 50 \quad ....(3)$$

1期間における植林量の上限を示す。すなわち、10年あたりの植林量の上限を5000万ヘクタールとする。

**植林費用関数**

$$FP_t = fpa \times e^{\frac{SW}{50}} + fpb(WN_t - WN_{t-1})^2 \quad ....(4)$$

fpa＝800, fpb＝10

FPは植林費用を表す。第一項はSW＝0（$e^0$＝1より）で初期価格800を示す。総植林量（SW）が増大するにつれて植林価格は増大する。第三項は、植林量の変化にともなう調整費用である。調整費用の発生する理由は、植林に必要とされる資源（資本設備、雇用者）の調整に要する費用である。調整費用は、増減に対して対象である。すなわち、増加させる場合も、余剰資源を廃棄する場合にも同じ費用が発生する。総植林費用は、単位植林費用に植林面積をかけて得られる。この費用を負担は、日本が行い、中国の負担はない。植林費用は、エネルギー利用者に一括して課税される。（モデル上はエネルギーコスト（5）式に加算される）

**エネルギーコスト**

$$EC_t = EE_t + PF_t WN_t \quad ....(5)$$

$EC_t$：総エネルギーコスト

$EE_t$：エネルギーコスト

**国内総生産**

$$Y_t = C_t + I_t + EC_t \quad ....(6)$$

$Y_t$：国内総生産、$C_t$：消費、$I_t$：投資

**二酸化炭素排出量制限**

$$CE_t - sr\,W_t \leq CARLIM_t \quad ....(7)$$

$CE_t$：二酸化炭素排出量、$sr$：植林によるヘクタール当たり年間吸収量

$CARLIM_t$：年間最大排出量

## Ⅳ. シミュレーション分析の結果

本節では、3つのシナリオを用意して、植林事業による共同実施政策の有効について検討する。それらは、

- 基準ケース（炭素排出上限なし・温暖化対策を行わないケース）
- 抑制ケース（炭素排出量を抑制する）
  - → 植林なし（共同実施を実行しない）
  - → 植林あり（共同実施を実行する）

排出可能な二酸化炭素排出は、日本については、1990年の排出量の80%の水準を上限とし、中国については、1990年の排出量水準の150%の水準を上限とする。日本の排出

量を1990年レベルに固定するのは環境庁による「地球温暖化防止行動計画」（環境庁、1992）によるものである。中国の上限については、中国が今後成長する余地を含み現状からの50%増までの排出を容認するものである。

以上の前提の下、日本が中国に植林用資金を提供し、その資金で中国が植林をおこなう。森林が吸収した二酸化炭素は排出権と考えられ、日本・中国に半分づつ帰属するものとする。この排出権は各国の二酸化炭素排出量の上限を緩和する働きをする。

次に、植林事業と二酸化炭素排出制限規模の関わりをみるために、二酸化炭素排出量の上限を1990年レベルの80%を上限とするケースに加え、排出上限のレベルを40%に減少させて、シミュレーションを実行した。

### 国内総生産の損失

基準シナリオでは、日本も中国も二酸化炭素排出量について上限がない。この場合、日本の平均成長率は2%、中国は5%である。

植林事業による共同実施を行うことなく、二酸化炭素排出の上限を遵守すれば、日本の国内総生産の伸びは低く押さえられるため、成長率は、基準シナリオの2%から0.3%と、1.7%も低下する。基準シナリオを下回る国内総生産は、二酸化炭素排出抑制策による損失となるが、年額36兆円に達する。これは、2100年のGDPの1.7%に相当する。

一方、植林事業による共同実施を行いつつ二酸化炭素排出抑制を行う場合には、最初の10年間は、日本の国内総生産は植林費用の負担もあって減少するが、その後は、植林の効果が現れるために、2020年以降は、損失は解消する。このため、2100年におけるGDPの損失は170兆、0.7%にとどまる。

### 二酸化炭素排出量

日本が植林事業を共同実施する場合、植林費用を負担するためにエネルギー価格が上昇して、二酸化炭素排出抑制の要因となるが、共同実施によって割り当てられた排出権を得ることで、二酸化炭素排出の上限が拡大することで生産が増加し、最終的には、割り当てられた上限まで二酸化炭素が排出される。中国についても同様であり、植林事業による共同実施で両国で追加的な排出量は、全て使い尽くされる。

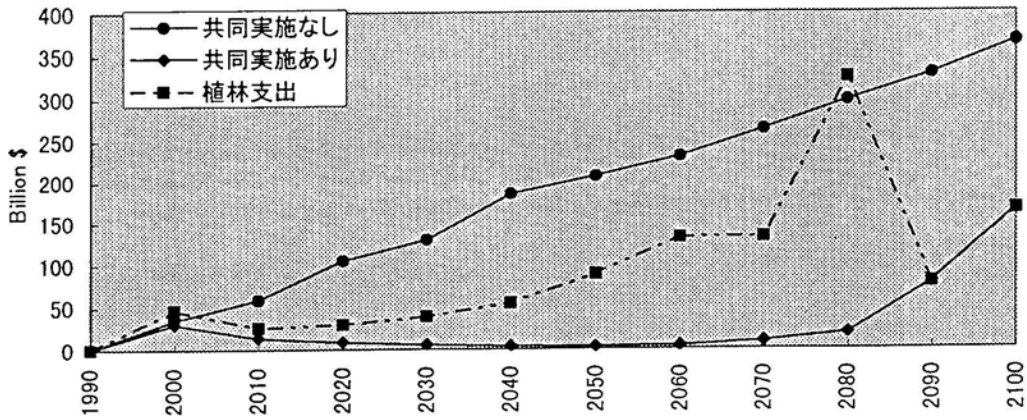


図1　日本：GDBの損失と植林支出

**エネルギー構成**

各シナリオごとに分析すると、基準ケースと植林ありのケースにおけるエネルギー生産量の変化の傾向は類似している。共同実施のせずに二酸化炭素を抑制する場合、二酸化炭素排出量の多いエネルギーから、少ないエネルギーへの転換が急速に進む。このとき、転換されるエネルギーは、高コストの高速増殖炉やバイオマスなどである。これらの、エネルギーは基準シナリオや共同実施の場合はそれほど使われない。これは、基準シナリオのように二酸化炭素排出量の上限がない場合や、共同実施によって二酸化炭素排出量の上限が緩和されている場合、初期時点では、二酸化炭素排出の原因となる石炭や石油が低コストであることから大きく依存する。しかし、植

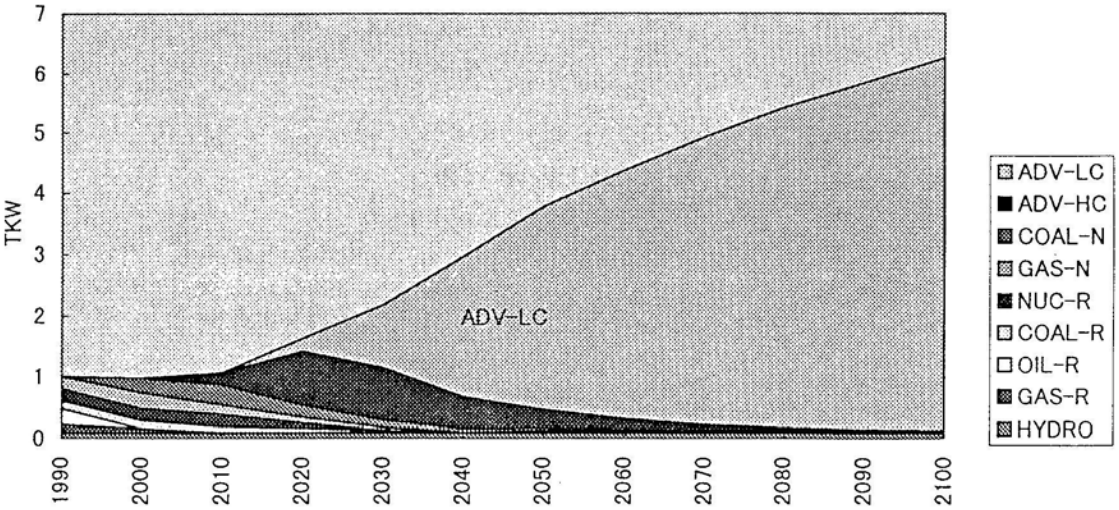


**図2-a**　共同実施なし: 電力エネルギー生産

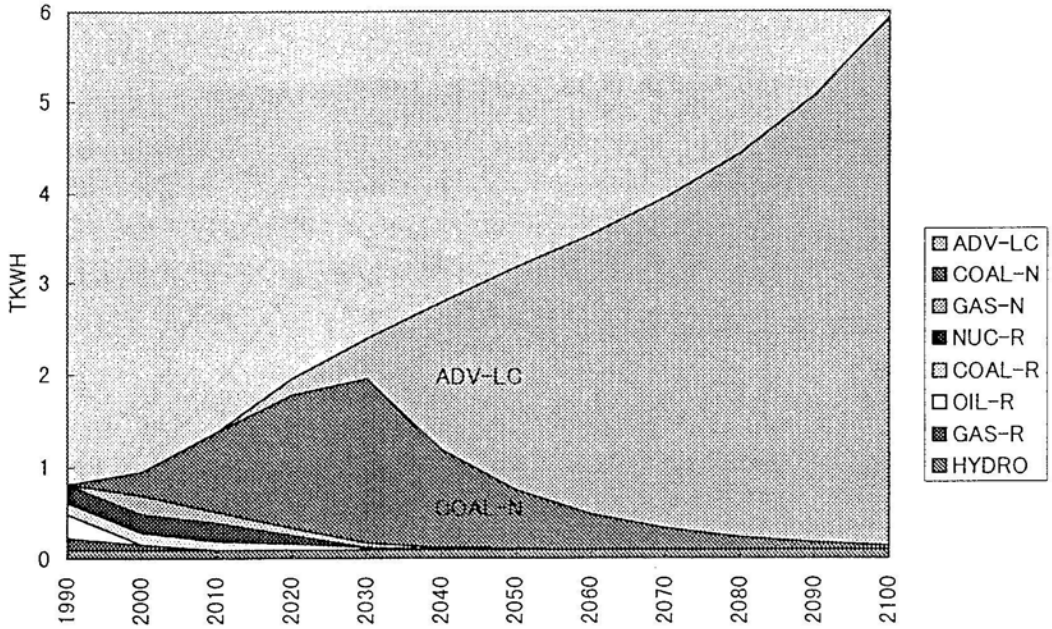


**図2-b**　共同実施：電力エネルギー

林費用負担によるエネルギーコストの上昇にともなって新エネルギー源へ転換が進む（図2—a, b)。なお、図中の ADV－LC,HC はそれぞれ低コスト新エネルギー、高コスト新エネルギーをさし、バックストップエネルギーを指す。また、各エネルギーの後につく N, R は、それぞれ New, Remaining を指す。

**植林面積**

総植林量は1億4000万ヘクタール前後に達する。これに伴い、年間植林量は毎年順調に増大し続け、最終的に年間200万ヘクタールまで増大する。（図3）なお、図における「二酸化炭素吸収中の森林」という項目は、モデル中の AF(Active Forest)の値である。

モデルから計算される新たに植林される面積と現在の中国の総森林面積を合計すると、2100年の総森林面積は約3億ヘクタールに達するが、これは中国の全面積の約3割にのぼる。中国の現状から考えて、これほどの面積の確保は難しいように思えるかもしれない。しかし、この数字は以下のようなことを考慮に入れ分析を行った結果である。

1. 年間あたりの植林量は200万ヘクタールで、現状（400万ヘクタール）とそれほどかけ離れるものではない。
2. 究極可能面積は、森林を表し、疎林を含めない。
3. 吸収期間が過ぎた森林は経済活動に使われうる。
4. 伐採して再び植林することがある。

3と4に関して、さらに以下のことが考えられる。

1. 伐採による二酸化炭素排出は監視され、計算されている。
2. 吸収が終わった森林は現在存在する森林となんら区別される理由がない。
3. 後世に、資源・二酸化炭素の貯蔵庫としての森林を残す。これは後世の人に選択をゆだねる・選択のオプションを残すことであり、後世の人を拘束するものではない。

**植林費用**

植林費用は、シミュレーションの終期の2070年で、1230億＄であり、年間123億＄である。また、シミュレーションの初期にお

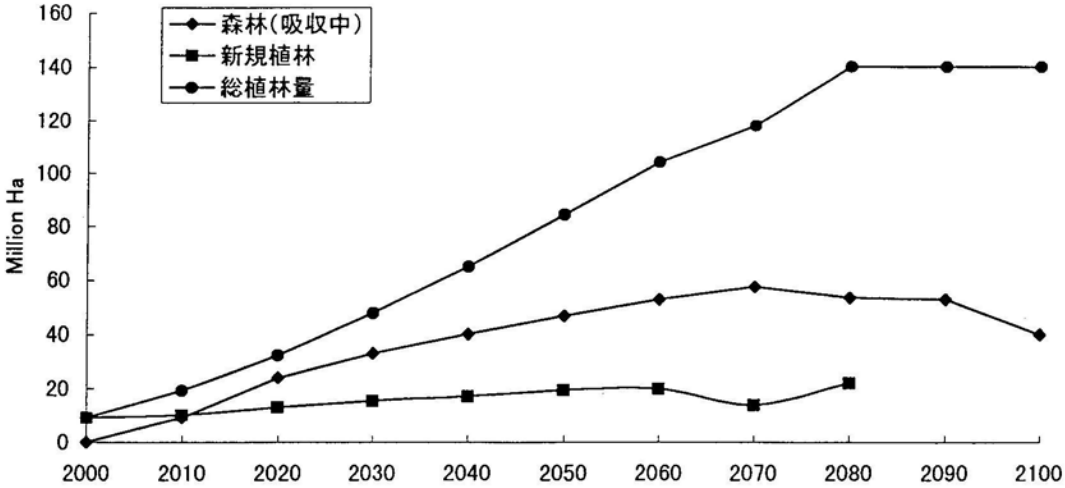


図3 植林量の推移

いては、年間にして15億＄である。植林費用は日本から中国への資金提供という形でなされる。1992年の日本から中国へのODA額は年間550万＄であり、初期の植林費用はこれのほぼ270倍の水準である。植林を日本が中国から二酸化炭素を購入する貿易ととらえると、中国と日本の貿易額は輸出入とも年間2兆円（200億＄）程度であるから、植林費用はこの15分の一程度である。

植林を行わない場合、終期における損失は年額3兆円（300億＄）である。これは植林費用の約3倍であり、植林の低コスト性が示される。

**二酸化炭素の上限と植林面積・価格**

植林が二酸化炭素排出削減に果たす役割を検証するために二酸化炭素の上限を1990年実績の80%から40%に減少させてシミュレーションをおこなった。（図4—a, b）

二酸化炭素排出量の上限が低く（厳しく）なるに従い、植林価格は上昇する。同時に、植林面積も増大する。植林量・価格はほぼ直

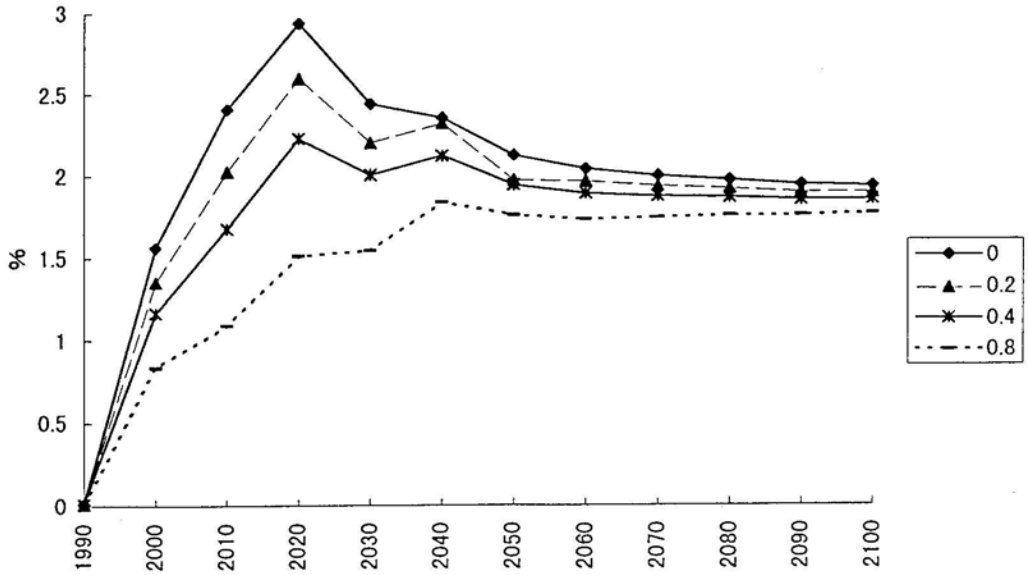


図4-a　共同実施なし：基準ケースと比較したGDPの損失

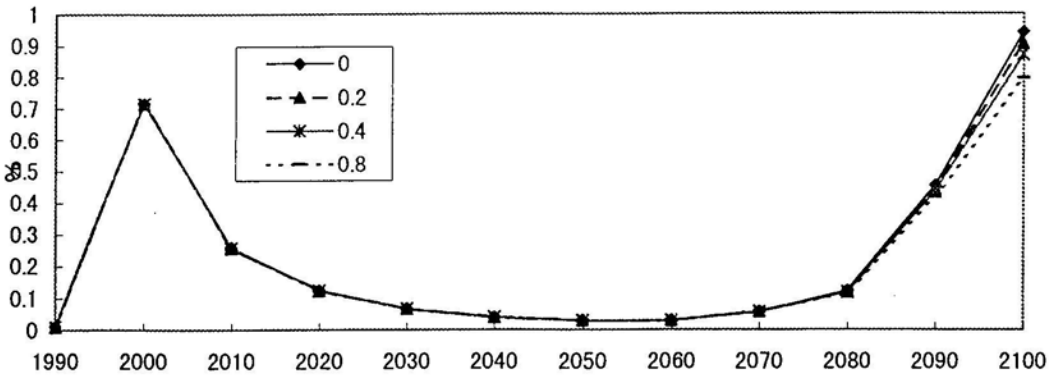


図4-b　共同実施：GDPの損失

線に従って変動する。しかし、植林面積には植林速度（年あたりの植林面積・拡大率）・最大植林量の上限が定められており、急速に植林が進むことはない。

このさい、植林量の限界を補うために二酸化炭素を排出しないエネルギーの使用が急激に上昇している。ここから、植林は二酸化炭素排出量の制限が厳しくなると、その面積的制約のため、植林のみでは二酸化炭素削減に貢献できないことが予想される。

また、二酸化炭素排出量を0にしたケースにおいて、植林をおこなわないケースにおいても、GDPの損失はそれほど大きいものではない。これは、エネルギーの転換が急速に進むためである。しかし、二酸化炭素を全く排出せずに、将来のエネルギー需要を支えられるほど代替エネルギーの許容量が大きいものであるのか、検討を要する。

## V. 結　論

本報告では、地球温暖化防止を目的とする、日本による中国の植林事業に対する共同実施のシミュレーション分析を行ったが、その成果は評価に値するものであった。シミュレーションによれば、中国の森林面積を全面積の約3割程度まで増大させ、日本の国内総生産の減少を伴うことなく、1990年の20%下回る二酸化炭素排出量の実現が可能であるという結果が得られた。

さらに、エネルギー構成の変化については、国内総生産の損失を緩和するような転換が行われることが明らかにされた。しかも、植林事業による共同実施により、日本の二酸化炭素の上限をより低く設定できる可能性も示唆された。

シミュレーションをおこなう際には、バックストップテクノロジーの開発スピード、コストなどの面の詳しい予測が重要となる。

## 参考文献

Bohm, P., 1993, "Incomplete International Cooperation to Reduce CO2 Emissions: Alternative Policies", *Journal of Environmental Economics and Management* 24, 258-271

Edmunds, J. A. and J. M. Reilly, 1983, "A Long-Term Global Energy-Economic Model of Carbon Dioxide Release from Fossil Fuel Use", *Energy Economics* 5, 74-88

Fengqi, Z., 1995, Energy Consumption and Air Pollution in China, United Nations University UNU Conference on the Sustainable Future of the Global System, Tokyo 16-18 October

Guogang,H., Q. Zhiqi, H. Bingzheng, L. Shuangjin, Z. Zhongjie, S. Rongqing, M. Wenyong and Z. Xingquo, 1991, "China's Environmental Protection Objectives by the Year 2000", International Journal of Social Economics 18, 180-92

Horbulyk, T. M. and W. A. Ross, 1993, "Potential to Sequester Carbon in Canadian Forests: A Comment", *Canadian Public Policy* 19, 463-68

Kooten, G. C. V., L. M. Arthur and W. R. Wilson, 1993A, "Potential to Sequester Carbon in Canadian Forests: Some Economic Considerations", *Canadian Public Policy* 18, 127-138

Kooten, G. C. V., L. M. Arthur and W. R. Wilson, 1993B, "Potential to Sequester Carbon in Canadian Forests: A Reply", *Canadian Public Policy* 19, 469-473

Manne, A. S. and R. G. Richels, 1991, "Global CO2 Emission Reductions-The Impacts of Rising Energy Costs", *The Energy Journal* 12, 87-108

Manne, A. S., 1992, "Global2100: Alternative Scenarios for Reducing Carbon Emissions", OECD Economics Department Working Papers, No. 111

Martin, J. P., J. Burniaux, G. Nicoletti and J. Oliveira-Martins, 1992, "The Costs of International Agreements to Reduce CO2 Emissions: Evidence From GREEN", *OECD Economic Studies* No.19, 93-121

Nordhaus, W. D., 1991, "The Cost of Slowing Climate Change: a Survey", *The Energy Journal* 12,

37-65

Nordhaus, W. D., 1992, "The "Dice" Model: Background and Structure of a Dynamic Integrated Climate-Economy", Model of the Economics of Global Warming, February, Cowles Foundation Discussion Paper No.1009

Whalley, J. and R. Wigle, 1992, "Results for the OECD Comparative Modeling Exercise from the Whalley-Wigle Model", OECD Economic Department Working Papers, No. 121 July

岡田健司、山本博巳、長野弘司、山地憲治, 1993, 植林による二酸化炭素吸収オプションの導入, 経済社会研究所,『電力中央研究所報告 Y92013』

環境庁, 1993,『環境白書平成五年度版』

環境庁, 1994,『環境白書平成六年度版』

環境庁, 1995,『環境白書平成七年度版』

永田豊、山地憲治、櫻井紀久, 1991, 課徴金による CO2 抑制効果と経済的影響の分析, 経済社会研究所、『電力中央研究所報告 Y91002』

レスター・R・ブラウン, 1995,『地球白書 1995-1996』, ダイヤモンド社（ワールドウォッチ研究所）

山地憲治、岡田健司、長野浩司、山本博巳, 1991, 市場機構を利用したグローバル CO2 抑制方策のシミュレーション解析, 経済社会研究所,『電力中央研究所報告 Y91002』

山地憲治、岡田健司、山本博巳, 1993, 線形計画モデルによる CO2 排出権市場の検討, 経済社会研究所、『電力中央研究所報告 Y93003』