

卒業論文

～ 地球温暖化と吸収源としての森林 ～

大沼あゆみ研究会 第3期生

大矢 隼人

卒業文論

～ 地球温暖化と吸収源としての森林～

< 目次 >

第1章 地球温暖化

- 1-1. 地球温暖化とは
- 1-2. 地球温暖化の現状
- 1-3. 国際的枠組みでの地球温暖化対策

第2章 CO₂ 吸収源としての森林

- 2-1. 森林のCO₂ 吸収効果
- 2-2. 京都議定書上での森林等吸収源
- 2-3. 吸収量増加に向けた日本の国内対策
- 2-4. 林業の現状と課題
- 2-5. 森林整備意欲向上に向けた対策

第3章 理論的分析・評価・検討

- 3-1. モデルの設定
- 3-2. 推進対策の与える影響
- 3-3. 推進対策の与える影響
- 3-4. 「自主参加型国内排出量取引制度」と推進対策への援用

終章 考察のまとめ

「この温かさを持った人間が地球さえ破壊するんだ。

地球は人間のエゴ全部を飲み込めやしない。

地球が持たない時が来ているのだ。」

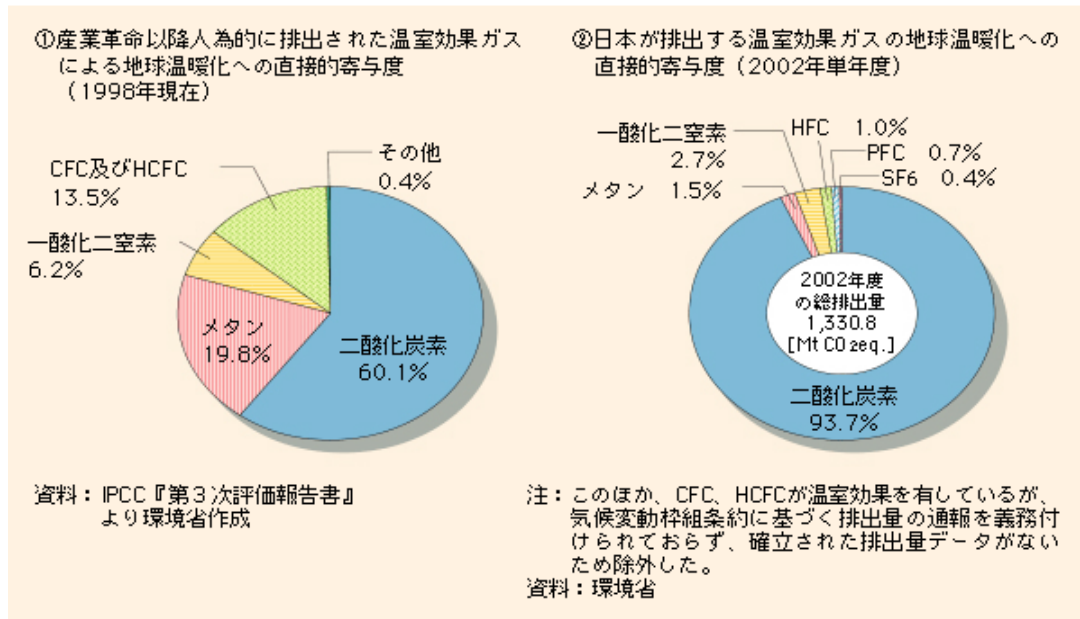
シャア = アズナブル

第1章 地球温暖化

1-1. 地球温暖化とは

地球温暖化とは、「温室効果ガス」の大気中濃度が高まることにより、地表の平均温度が上昇する現象を言う。温室効果ガスとは、太陽から入射する比較的波長の短い光線は透過するが、地表から放射される波長の長い赤外線は吸収する性質を有する期待の総称である。太陽から入射する光線は、約半分が大気や雲で反射され、残りは大気を素通りして地表面を暖める。一方、地表から放出される赤外線はいったん温室効果ガスに吸収される。このため、地表からのエネルギーの一部はすぐに放散せず、大気中对流して気温を引き上げる。これが「温室効果」と呼ばれるメカニズムである。現在、温室効果ガスのうち問題視されているのは、人間の活動に起因して大気中濃度が上昇している二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)、各種フロン類などである。

図1-1-1



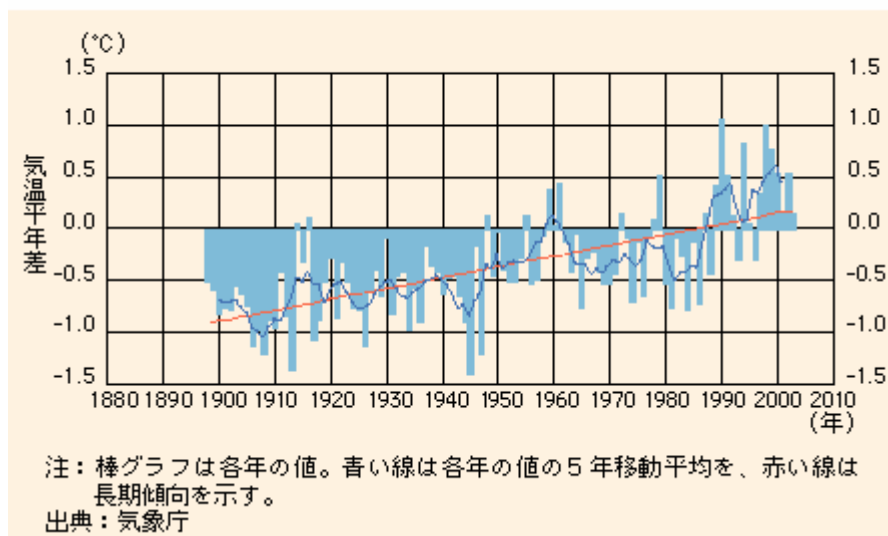
1-2. 地球温暖化の現状

地球温暖化に関し科学的な議論を行う公式の場として、「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)というものがあり、IPCC が 2001 年初めに発表した「IPCC 第 3 次評価報告書」では、21 世紀末までに大気中の二酸化炭素(CO₂)濃度が 540ppm ~ 970ppm⁽¹⁾に上昇し、地球全体の平均表面気温は 1.4 ~ 5.8 上昇すると予測している。これは 1861 年以降、約 150 年間の気温上昇が 0.6±0.2 であったのと比較すると、大幅な上昇であると言える。

また、同報告書では、1960 年代後期以降、積雪面積の約 10%が減少し、20 世紀中に北半球の中・高緯度域の湖沼や河川が氷で覆われる年間の日数がおよそ 2 週間減ったとみられている。このように地球温暖化による海水の熱膨張及び氷河と氷帽などの融解によって海上水位の上昇が起こると考えられ、21 世紀末には海上水位が 0.09m ~ 0.88mほど上昇するとも予測されている。

地球温暖化が日本に与える影響を見ると、気象庁の観測から、日本での年平均気温はこの 100 年間で約 1.0 上昇しており、特に 1980 年代からの上昇が著しくなっていることがわかる。

図 1-1-2 日本の年平均地上気温の平年差の経年変化(1898年~2003年)



他にも、今後 100 年間の気温上昇は南日本で 4℃、北日本で 5℃と予測されており、オホーツク海の海水面積の減少や、動植物の生息域の移動等温暖化による自然環境等への影響が既に現れつつあり、さらに、今後温暖化の進行により、水資源、農林水産業、生態系、沿岸域、エネルギー、健康等の広範な分野にわたりさまざまな影響が生じることが懸念されている。(平成 13 年 3 月の環境省報告書『地球温暖化の日本への影響』より)

⁽¹⁾ppm は parts per million の略で、100 万分の 1 を示す単位。

1-3. 国際的枠組みでの地球温暖化対策

第 1-2 節で見てきたように、地球の温暖化や気候変動はすでに起こり始めていると考えられ、将来的にはさらに温暖化・気候変動が進行し、大きな被害がもたらされる可能性が高い。こうした危機感から、国際的な枠組みで地球温暖化対策を推進しようという動きが強まっている。この第 1-3 節ではそれらの対策を大まかにだが見ていこうと思う。

国際的な枠組みでの温暖化対策として代表的なものとしては、「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」での研究や「気候変動枠組条約」、「気候変動枠組条約締約国会議(COP)」、「京都議定書」などが挙げられる。

- ・ 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)

地球温暖化の実態把握とその精度の高い予測、影響評価、対策の策定を行うことを目的として、世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)の協力の下に 1988 年に設立された。

世界中から 1000 名以上の科学者を集め、気候変動現象の解明や将来予測を行い、1990 年に「第 1 次評価報告書」をまとめ、現在では「第 3 次評価報告書」を発表し、また、2000 年には「森林等の吸収源に関する特別報告書」も発表している。

- ・ 気候変動枠組条約

気候変動に関する科学的な解明は IPCC などによって進んでいるが、地球温暖化を防止するには条約などの国際的な取り決めがないと実効は上がらない。そのために生まれたのが「気候変動に関する国際連合枠組条約(気候変動枠組条約)」である。

1992 年 6 月にリオ・デ・ジャネイロで開催された、国連環境開発会議(通称、地球サミット)において 155 カ国が署名し、1994 年 3 月に発効した。この条約には、アメリカ、ロシア、中国、インドをはじめ世界の大部分の国々が参加しており、2004 年 5 月 24 日現在の批准国数は 188 カ国および EC となっている。日本は、1992 年に署名、1993 年に批准した。

主な内容としては、

大気中の温室効果ガスの濃度の安定化を目的とする。

共通に有しているが差異のある責任および各国の能力に従い、先進締約国(附属書の締約国)は率先して気候変動及びその悪影響に対処すべき。

条約の最高機関として締約国会議(COP)を設置する。

締約国会議は議定書を採択できる。

などが挙げられる。

- ・ 気候変動枠組条約締約国会議(COP)

COP は、各条約の締約国会議(Conference of the Parties)を意味する略称として用いられるが、1997 年のいわゆる京都会議(COP3)以降、気候変動枠組条約締結国会議のことを一般的

には指すことが多くなった。また、COP は条約の最高機関であり、気候変動枠組条約締約国会議は毎年行なわれており、これまでの開催年、都市、などは表(1-1)のようになっている。

(表 1-1) COP の開催年・都市・国

	開催年・月	都市	国
COP1	1995 年 3 月	ベルリン	ドイツ
COP2	1996 年 7 月	ジュネーブ	スイス
COP3	1997 年 12 月	京都	日本
COP4	1998 年 11 月	ブエノスアイレス	アルゼンチン
COP5	1999 年 10 月	ボン	ドイツ
COP6	2000 年 11 月	ハーグ	オランダ
COP6-2	2001 年 7 月	ボン	ドイツ
COP7	2001 年 10 月	マラケシュ	モロッコ
COP8	2002 年 10 月	ニューデリー	インド
COP9	2003 年 12 月	ミラノ	イタリア
COP10	2004 年 12 月	ブエノスアイレス	アルゼンチン
COP11	2005 年 11 月	未定	未定

・ 京都議定書

1997 年 12 月に京都で COP3 が開催され、この COP3 での合意事項をまとめたものが「京都議定書」である。日本は 1998 年 4 月に署名し、2002 年 6 月に批准している。

京都議定書には、温暖化防止に取り組む基本事項、国際的な枠組みが示されており、主な内容としては以下のものが挙げられる。

温室効果ガス⁽²⁾の排出量削減目標を先進国等の中で約束

(法的拘束力のある数値目標の設定)

森林等吸収源(シンク)による CO₂ 吸収量を限定的にだが削減目標の算定に加味

「京都メカニズム」と称される、排出量取引(ET)、共同実施(JI)、クリーン開発メカニズム(CDM)などの国際制度の導入

また、京都議定書の発効には「 55 カ国以上の国の締結」、「締結した附属書 国の 1990 年の合計 CO₂ 排出量が、全附属書 国の合計排出量の 55% 以上」、という 2 つの要件が必要である。 については COP10 において、インドネシア、リヒテンシュタイン、ナイジェリアなどが新たにに加わったことで締約国は 132 カ国となり満たされている。また、 については、2004 年 11 月 18 日にロシアが批准したことで満たされた。これにより、90 日後の 2005 年 2 月 16 日に発効することとなった。

⁽²⁾京都議定書が指定した温室効果ガスは、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)、ハイドロフルオロカーボン類(HFC_s)、パーフルオロカーボン類(PFC_s)、六フッ化硫黄(SF₆)の 6 種類

しかし、先進諸国のうち、オーストラリア、リヒテンシュタイン、モナコ及びアメリカだけが、依然として議定書を批准していないという問題もある。オーストラリアとアメリカは、両国合わせて、先進諸国から排出される温室効果ガスの 3 分の 1 を占めており、この論文では取り立てて詳しくは考察していかないが大きな問題であるといえる。

このように現在も進行しつつある地球温暖化に対して、各国が独自の対策を講じるだけでなく、先進諸国を中心とした国際的な枠組みで様々な地球温暖化対策が進められている。この論文では様々な地球温暖化対策の中でも、京都議定書に盛り込まれている「森林等吸収源(シンク)による CO₂ 吸収量」に着目し、第 2 章からは日本において、その効果を有効に行き届ける国内対策、システムについて考察を進めていく。

第2章 CO₂吸収源としての森林

2-1. 森林のCO₂吸収効果

樹木は光合成により水と二酸化炭素等から有機物を合成しており、合成された有機物は樹木の幹、枝、根、葉に分配され貯蔵される。また、樹木の成長に伴い地上に落ちる葉や枝のうち、かなりの量が有機物として土壤中に蓄積される。このように森林は二酸化炭素を吸収し、地上部及び地中に炭素を貯蔵する役割を果たしている。

林野庁の試算によると、日本の代表的な造林樹種であるスギの1ha当たりの炭素の貯蔵量は、50年生のスギ人工林で約170 t-C⁽³⁾にもなる。この50年生のスギ(直径26cm、樹高22m)は1本当たり約190kg-Cの炭素を貯蔵していることになり、50年間のCO₂の吸収量は年平均で3.8kg-C/年(13.9 kg-CO₂/年)と試算されてる。

また、環境省の試算では、平成12年(2000年)の日本の二酸化炭素の排出量は12億3710万t-CO₂⁽⁴⁾であり、一方、現状程度の水準(H10~12年平均)で、森林整備等が推移した場合、全国の育成林(820万ha)と天然生林のうち保安林、自然公園等(590万ha)の吸収量は約3660万t-CO₂/年とも試算されており、この数値は2000年の排出量の約3.0%、1990年の排出量の約3.3%にあたる。

さらに、IPCCでも、第2次評価報告書において、土地利用、土地利用変化及び林業分野(LULUCF)において、保護、吸収、代替の3つの方法を取ることで、大気中のCO₂濃度の上昇を緩和できるとの見方を示している。⁽⁵⁾

このように森林には大きなCO₂吸収効果があるといえ、日本が京都議定書で定められた数値目標を達成する上で大きな役割を果たすといえるだろう。

⁽³⁾ t-C:炭素換算による重量、t-CO₂:二酸化炭素換算による重量 1kg-C×(44.01/12.01) 3.66kg-CO₂

⁽⁴⁾環境省地球環境局地球温暖化対策課「地球環境保全に関する関係閣僚会議(2002年7月19日)」資料より

⁽⁵⁾ 保護:植生と土壌有機物と生態系から取り出される製品を含めた、現存の炭素埋蔵量を保持、保全する積極的措置
吸収:すでに存在する炭素貯留量を増加させるために意図的に取られる措置
代替:化石燃料やエネルギー集約的製品を再生可能な生物的生産物に置き換え、それによって化石燃料の燃焼から発生するCO₂の排出を回避する行動

『IPCC 地球温暖化第三次レポート』より

2-2. 京都議定書上での森林等吸収源

第2-1節において、森林等吸収源(シンク)が京都議定書の数値目標達成に大きく貢献すると述べた。それでは、京都議定書上でのシンクの扱いはどのようにになっているのだろうか。なお、以降の議論において中心となる国内のシンクによる吸収について焦点を当て、シンクによる吸収であっても、共同実施(JI)やクリーン開発メカニズム(CDM)などの詳細などは割愛させていただくことをご了承いただきたい。

京都議定書ではシンクのCO₂吸収量の計上について、同議定書の第3条3項及び同条4項の規定に基づき、1990年以降に行われた、新規植林、再植林、森林減少、追加的人為的活動の4つに限定し、排出削減目標の算定に計上することが認められている。(表2-1)

(表2-1)京都議定書第3条抜粋

- | |
|--|
| <p>3 土地利用の変化及び林業に直接関係する人の活動(千九百九十年以降の新規植林、再植林及び森林を減少させることに限る。)に起因する温室効果ガスの発生源による排出量及び吸収源による除去量の純変化(各約束期間における炭素蓄積の検証可能な変化量として計測されるもの)は、附属書に掲げる締約国がこの条の規定に基づく約束を履行するために用いられる。(略)</p> <p>4 附属書に掲げる締約国は、(略)農用地の土壌並びに土地利用の変化及び林業の区分における温室効果ガスの発生源による排出量及び吸収源による除去量の変化に関連する追加的な人の活動のいずれに基づき、附属書に掲げる締約国の割当量をどのように増加させ又は減ずるかについての方法、規則及び指針を決定する。この決定は、二回目及びその後の約束期間について適用する。締約国は、当該決定の対象となる追加的な人の活動が千九百九十年以降に行われたものである場合には、当該決定を一回目の約束期間について適用することを選択することができる。</p> |
|--|

しかし、この時点では森林や追加的人為的活動などの詳細な定義は決められてはおらず、これらの定義の決定は2001年にマラケシュで行われたCOP7での「マラケシュ合意」によって決められた。マラケシュ合意におけるシンクに関する決定事項は、以下のとおりである。

i. 森林の定義

- ・ 最小面積 : 0.05 ~ 1.0ha
- ・ 最小樹冠率⁽⁶⁾ : 10 ~ 30% 各閾値は各国が約束期間の開始前に設定する。
- ・ 最低樹高 : 2 ~ 5m

ii. 3条3項(新規植林、再植林、森林減少)

- ・ 新規植林 : 50年以上森林でなかった土地の、植栽、播種もしくは天然更新の人為的な促進による、直接的人為的な森林への転換
- ・ 再植林 : 森林であったが非森林に転換されていた土地の、植栽、播種もしくは天然更新の人為的な促進による、直接的人為的な森林への転換

第1約束期間においては、再植林活動は1989年末に森林でなかった土地での再植林に限定

⁽⁶⁾樹冠率 = 樹冠面積 / 森林土地面積

- ・ 森林減少 : 森林から非森林への直接的人為的な転換
新規植林、再植林、森林減少、ともに土地被覆上の変化ではなく、土地利用変化(LULUCF:土地利用、土地利用変化及び林業)でなければならない。

iii. 3条4項(追加的人為的活動)

- ・ 第1約束期間において3条4項の対象となる活動は、「植生回復」、「森林経営」、「農地管理」、「放牧地管理」より締約国が選択することが可能
ただし、選択した活動は第1約束期間中変更できない。
- ・ 森林経営 : 森林の関連する生態的(生物多様性を含む)、経済的、社会的機能を持続可能な方法で発揮させることを目指した、森林が存する土地の経営と利用に関する一連の行為
- ・ 第1約束期間において、3条3項の規定によって排出を計上することになる締約国においては、森林経営による吸収量を用いて相殺可能
ただし、日本の上限値は 3,300 万 t-CO₂ (900 万 t-C)
- ・ 森林経営による吸収量は、国内における吸収量と、他の国が共同実施(JI)により吸収源のプロジェクトを国内で実施した場合に獲得することができる吸収量について、その上限について国別に定め、その範囲内で吸収量を計上可能
ただし、日本の上限値は 4,767 万 t-CO₂ (1,300 万 t-C)

(表 2-2) 主な国の森林経営による森林等吸収量の適用上限値

	適用上限値	基準年排出量比	削減目標
日本	1300 万 t-C	3.9%	- 6%
カナダ	1200 万 t-C	7.3%	- 6%
ロシア	3300 万 t-C	4.0%	± 0%
フランス	88 万 t-C	0.6%	- 8%
ドイツ	124 万 t-C	0.4%	- 8%
イギリス	37 万 t-C	0.2%	- 8%
スウェーデン	58 万 t-C	3.0%	- 8%
アメリカ	吸収量適用上限値は設定されていない		

iv. 吸収及び排出量の計上

- ・ 3条3項、4項活動に起因する約束期間における検証可能な炭素蓄積変化及び非 CO₂ 温室効果ガスの純排出量を締約国の排出割当量に加味する。
- ・ 3条3項、4項活動に起因する吸収・排出量の計上は、活動の開始時もしくは約束期間の最初のうち、どちらか遅いほうから始まる。
- ・ 3条3項、4項のもとで吸収・排出量を計上した土地は、その後の約束期間においても当該土地からのすべての人為的な温室効果ガスの吸収・排出量を計上しなければならない。

- ・ 計上すべき炭素蓄積の変化は、
 - 地上バイオマス（樹木や草本地上部）
 - 地下バイオマス（根茎）
 - リター（落葉落枝）
 - 枯死木
 - 土壌有機炭素

ただし、ある炭素蓄積が排出源でないことが透明かつ検証可能な手法により証明される場合は、この炭素蓄積の変化を計上しないことを選択することができる。

- ・ 吸収・排出量に関する毎年の報告が提出されていない場合は京都メカニズムの参加資格を停止する。

このようにマラケシュ合意によって、森林、新規植林、再植林、追加的人為的活動などの定義の詳細や、森林経営による森林等吸収量の各締約国の適用上限値が決められ、また、森林を定義する各閾値の決定や、追加的人為的活動の選択など、各締約国独自の選択が認められることになった。

ただし、マラケシュ合意では、伐採された木材製品 (Harvested Wood Products: HWP) に含まれている炭素量の計測手法などについては未だ検討が続いている段階であり、第1約束期間の運用ルールに関する国際競技の時間的制約もあって、第2約束期間(2013年～)以降の取り扱いについては、「伐採された木材の製品の取り扱いを変更することについては、COPの将来の決定に従うべきことを決定する」との文言が明記され、改めて議論されることになった。

その後、2004年にブエノスアイレスで開催されたCOP10において、先進国の温室効果ガス吸収源の算定方法に関して、2003年にIPCCが採択した手法(LULUCF-GPG⁽⁷⁾)を採用することで合意されたが、伐採木材製品の取り扱いについて、各国のデータに基づいた検討を行うこととなっており、未だ決定には至っていない。

以上で見えてきたように、シンクによる吸収量の削減達成目標への計上は、限定されたある活動において、定められた上限値まで適用される。この値は日本にとっては基準年比 3.9%までが認められており、削減目標である基準年比-6%に対して大きな割合を占めており、政府としても大きな期待を寄せているようである。しかし、環境省の試算によると、「2008年から2012年の第1約束期間に年平均で1300万t-C/年(3.9%)の森林による二酸化炭素吸収量を確保するためには、我が国の約7割の森林がこの対象に認められる必要がある。しかしながら、現状の整備水準(平成10～12年の平均)で推移した場合には約束期間において「森林経営」として認められる森林は十分なものと

⁽⁷⁾Land Use, Land-Use Change and Forestry Good Practice Guidance の略称。IPCC 良好手法指針。COP7 での要請を受け、IPCC が 2003 年に採択した LULUCF に関する算定指針で、2004 年の COP10 で採用が合意された。IPCC ガイドラインに基づき、議定書3条3項及び4項の下での活動に起因する人為的な排出量・吸収量及び炭素ストック変化量を推定、測定、モニタリング及び報告するための方法を精緻化するための模範的手法を示している。

はならず、その結果森林による二酸化炭素吸収量として算定される量は、3.9%を大幅に下回る恐れがあるものと試算される。」ということで、このまま何も対策を講じないわけにいいかない。現に政府としてもここ数年で様々な政策の策定・施行を行っている。次の第 2-3 節ではそれらの政策について見ていき、第 3 章での理論分析へとつなげていく。

2-3. 吸収量増加に向けた日本の国内対策

我が国においては、1987年に環境白書に初めて「地球温暖化」という言葉が登場したが、地球規模の問題としての認識は低かった。これに対して本格的に検討を始めたのはリオ・デ・ジャネイロの「地球サミット」を目前にした1990年のことである。

1990年10月、今後の日本の温暖化対策を計画的総合的に推進するために「地球温暖化防止行動計画」が策定された。しかし、責任の所在が不確かな努力目標であったため、実効性に乏しく目標を達成することはできなかった。

その後、第3回締約国会議(京都会議、COP3)終了後、我が国の削減目標である6%の達成に向け、その対策について検討を行うために、1997年12月「地球温暖化対策推進本部」が設置された。

1998年6月、地球温暖化対策推進本部において「地球温暖化対策推進大綱」(以下、旧大綱)が策定された。この大綱は、京都議定書の目標年次2010年に向け、緊急に推進すべき対策として策定され、この中で森林吸収源としては京都議定書上の植林及び再植林による純吸収分で0.3%が見込まれ、2010年ごろの我が国全体の森林などによる純吸収量は3.7%程度と推計された。

また、「地球温暖化対策推進法」を新たに制定し、国が温暖化対策に関する基本方針を定め、国・地方公共団体・事業者がそれぞれ温室効果ガス排出抑制に計画的に取り組むことを促す枠組みが整備された。

第7回締約国会議(COP7)後の2001年11月、地球温暖化対策推進本部が開催され、2002年に京都議定書を締結するため、1998年に策定された大綱の見直し、次期通常国会で締結に向けた国内制度の整備・構築の決定、を行い議定書締結に向け取組みが本格化した。旧大綱は定量的な目標、対策による効果の評価がなく、削減目標である6%の達成のための行動計画としては不十分なものであった。そして、2002年3月、新たな「地球温暖化対策推進大綱」(以下、新大綱)が決定した。新大綱では、2002年から2012年の間を「第1ステップ」(2002年～2004年)、「第2ステップ」(2005年～2007年)、「第3ステップ」(2008年～2012年)の3段階に区分し、ステップ・バイ・ステップのアプローチにより、対策の進捗状況に応じて必要な追加的対策・施策を講じていくこととしている。(図2-1参照)

この中での森林吸収源対策として、

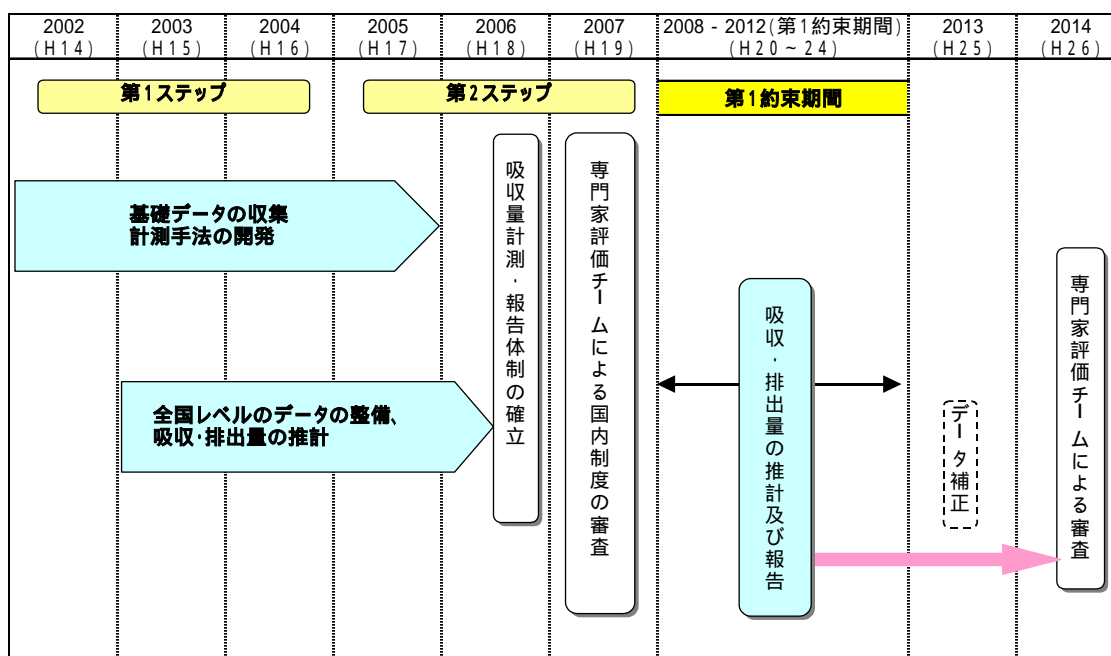
- ・ 健全な森林の整備
- ・ 保安林などの適切な管理・保全などの促進
- ・ 国民参加の森林づくりなどの推進
- ・ 木材及び木質バイオマス利用の推進

の4つを柱とした対策を行い、削減目標として4,767万t-CO₂(1,300万t-C)(基準年総排出量比3.9%)の吸収量の確保を目指すこととした。

具体的には、まず、では、無立木地、荒廃地、耕作放棄地等において、植林、保育等を推進することで、京都議定書第3条3項にある「新規植林」、「再植林」による吸収量の増加につながる。

また、すでに森林となっている土地に対しては複層林化、広葉樹の導入、除間伐、伐採後の更新（再造林）、下刈等を推進することで、京都議定書第3条4項にある「森林経営」による吸収量の増加を促す。次に、では保安林等の適切な管理・保全等として、保安林の消失を防ぎ森林の持続性の確保、また、森林の保全、治山事業等を推進していく。では国民の直接参加による森林の整備・保全活動や、森林環境教育などを通じて国民参加の森林づくり等の推進を図る。では、木材利用の推進として、木材・木質材料の利用・加工技術等の向上や、木造住宅・公共施設への木材利用の推進、木質バイオマス利用の推進として、林地残材、製材工場残材等の木質バイオマスエネルギーとしての活用の推進を行っていく。これら4つを柱とした政策を行うことで、削減目標として掲げられた吸収量を確保しようというものである。

(図 2-1) 森林による温室効果ガス吸収・排出量報告体制整備スケジュール



「平成 14 年度炭素吸収源等森林計測体制整備強化事業報告書」(林野庁、社団法人 日本林業技術協会、平成 15 年 3 月)

さらに、京都議定書の批准の前提として、議定書に規定された義務の履行が法的に担保されることが必要であることから地球温暖化対策推進法の改正も必要とされ、新たな骨子として、地球温暖化対策推進本部を法定の組織とすること、新大綱をベースとした法的根拠のある計画として「京都議定書目標達成計画」を策定することなどが、地球温暖化対策推進本部において 2002 年 2 月に決定した。そして同年 5 月「地球温暖化対策の推進に関する法律」改正案は国会で承認され、続く 6 月には京都議定書の批准を国会に報告、京都議定書の締約国として地球温暖化防止に向けた重責を果たすことを国際社会に約束することとなった。

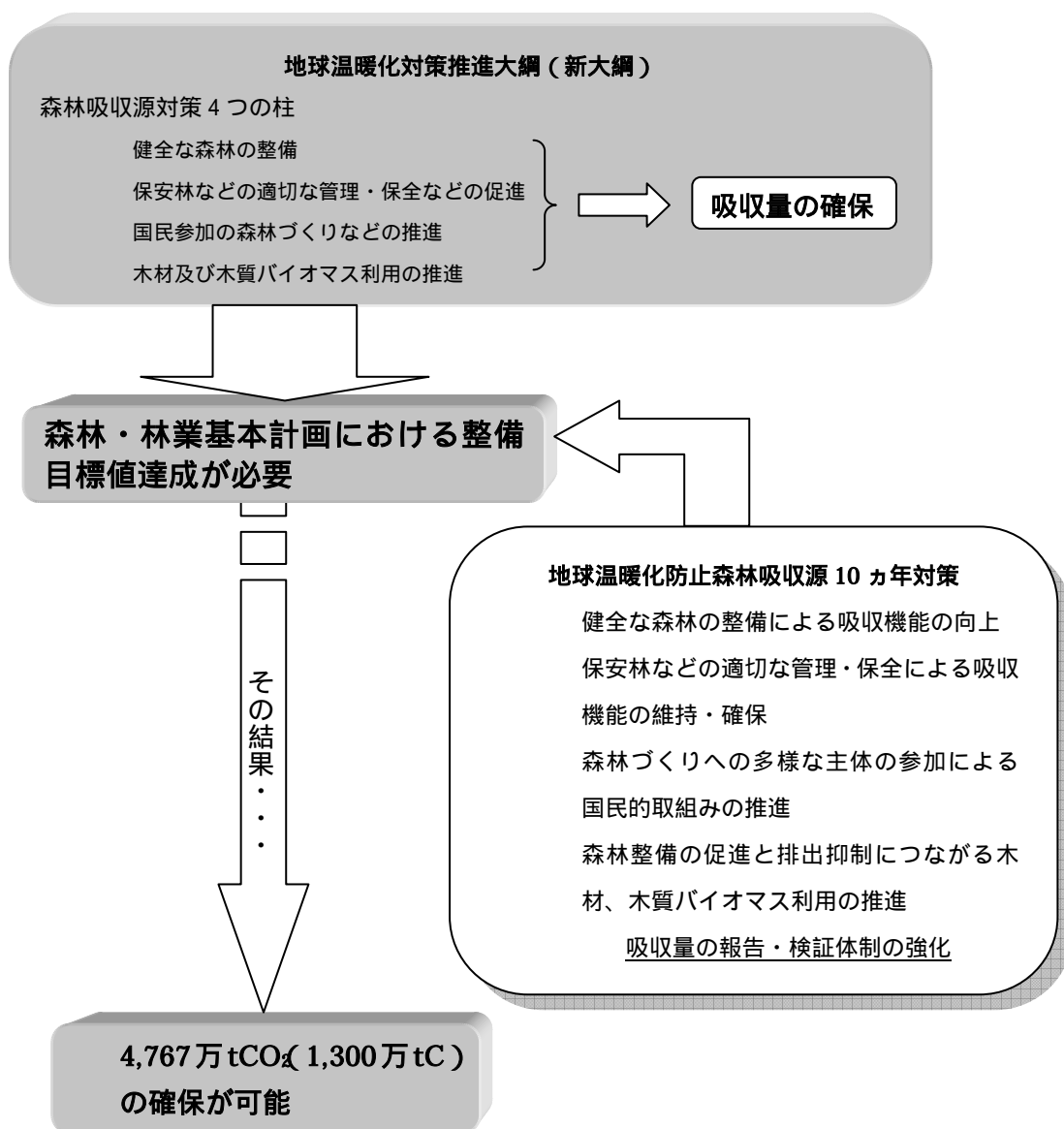
しかし、次節において詳しく考察していくが、現在の森林・林業をとりまく情勢から、削減目標である 3.9%の達成は容易ではない。このため、2003 年から第1約束期間の終了年である 2012 年まで

の 10 年間にける基本計画に基づく森林整備などを計画的に強力に推進するため、「地球温暖化防止森林吸収源 10 ヶ年対策」が 2003 年 12 月に策定された。

これは、健全な森林の整備による吸収機能の向上、保安林などの適切な管理・保全による吸収機能の維持・確保、森林づくりへの多様な主体の参加による国民的取り組みの推進、森林整備の促進と排出抑制につながる木材、木質バイオマス利用の推進、の 4 つを柱とし、吸収量の報告・検証体制の強化も行うこととしている。

さらに、2002 年 2 月に「地球温暖化対策推進大綱」を基礎とした「京都議定書目標達成計画」の策定が地球温暖化対策推進本部において決定され、本論文の執筆中の現時点(2005 年 1 月)でも策定作業が進行しており、2005 年 5 月頃には閣議決定される見通しである。

参考(図 2-2) 吸収量と新大綱等との関係



参考(表 2-3) 日本国内の温暖化対策の流れ

年・月	国内対策
1990年10月	「地球温暖化防止行動計画」策定
1997年12月	「地球温暖化対策推進本部」設置
1998年6月	「地球温暖化対策推進大綱」策定
1999年4月	「地球温暖化対策推進法」施行
2002年2月	「京都議定書目標達成計画」の策定が地球温暖化対策推進本部において決定
2002年3月	「地球温暖化対策推進大綱」改定
2002年5月	「地球温暖化対策推進法」改正案 国会で承認
2002年6月	京都議定書批准
2003年12月	「地球温暖化防止森林吸収源10ヵ年対策」策定

このように、今現在も日本政府はシンクによる吸収量の増加に向け、数多くの政策を行っている。その中で私が特に重要だと考えるのは、「地球温暖化対策推進大綱」や「地球温暖化防止森林吸収源10ヵ年対策」にも盛り込まれている、「健全な森林の整備による吸収機能の向上」である。さらに、その中でも「森林経営」による吸収源の増加が、削減目標を達成するための重要な鍵を握っていると考える。なぜならば、(表 2-4)を見てもらえればわかると思うが、「新植林」を行える無立木地は森林全体の5%ほどしかなく、大きな効果が得られるとは言えない。また、森林全体の53.1%を占める天然林に対して、天然更新の人為的な促進を行い、直接的人為的な森林へ転換し、「再植林」としてカウントすることで大きな効果が得られると考えられるかもしれない。しかし、一度直接的人為的な森林へ転換してしまうと、次年度からは人工林と同じになってしまい、一度きりしか使えず、持続的ではない。一方、人工林は森林全体の41.2%にあたり、十分大きな影響を与えられるだろう。さらに、天然林と異なり、毎年の成長量が吸収量に計上されるので持続可能でもある。これらのことから、人工林において「森林経営」を行い、CO₂の蓄積を増やすことで、計上されるCO₂吸収量を増やすことが望ましいと言えるのではないだろうか。

また、人工林全体の約64.7%は私有林であることから、政府による森林経営だけでなく、私有林の所有者が森林経営を行うことが必要不可欠であるとも言えよう。しかし、現在の森林・林業を取り巻く情勢は厳しく、多くの課題がある。2-4節ではそれら林業を取り巻く現状と課題についてみていく。

(表 2-4) 森林資源現況総括表(平成 14 年 3 月 31 日現在)

区分	国有林	民有林			国・民計 <A>	<A>/ (%)
		公有林	私有林	対象外森林		
人工林(千 ha)	2,411.5	1,232.3	6,704.7	12.3	10,360.8	41.2
<A>に占める割合(%)	23.3	11.9	64.7	0.1		
天然林(千 ha)	4,769.8	1,426.5	7,125.8	27.2	13,349.3	53.1
<A>に占める割合(%)	35.7	10.7	53.4	0.2		
無立木地(千 ha)	656.4	132.6	461.5	4.2	1,254.7	5.0
竹林(千 ha)	0.2	5.0	148.6	2.6	156.4	0.6
計画区計	7,896.9	2,819.0	14,558.7	46.6	25,121.2	

(林野庁 統計資料森林資源現況総括表より作成)

2-4. 林業の現状と課題

現在、日本の林業を取り巻く状況としてはどのような問題が挙げられる。

i. 木材価格

日本国内における、国産材の価格は長期低迷が続いており、特に製材用素材価格⁽⁸⁾の低下が、森林所有者の林業経営に対する意欲を減退させている。平成 16 年 12 月のスギ中丸太の製材用素材価格は、ピークであった昭和 55 に比べ 3 分の 1 程度にまで落ち込んでいる。(表 2-5)

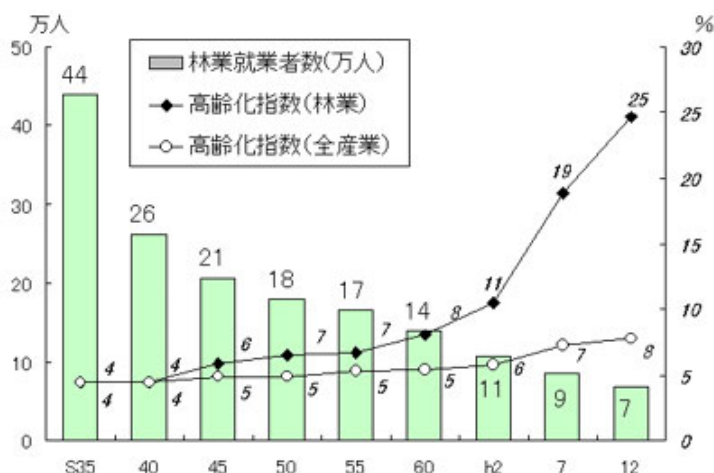
(表 2-5) 製材用素材価格

区分	まつ	すぎ小	すぎ中	ひのき	ラワン	米マツ	米つが
	24～28 cm	8～13 cm	14～22 cm	14～22 cm	60 cm上	30 cm上	30 cm上
年次	3.65～4.0m	3.65～4.0m	3.65～4.0m	3.65～4.0m	4.0m上	6.0m上	6.0m上
H16. 12	16,700	10,600	13,300	28,400	54,900	27,300	23,000
S55	28,700	76,400	39,600	54,700	35,900	35,100	41,900

ii. 労働力

林業就業者数は、年々減少し、平成 12 年度では 6 万 7 千人と 10 年前の 6 割の水準となっている。さらに、林業における高齢化は、全産業における高齢化に比べ急激に進んでおり、平成 12 年の時点ですでに、林業就業者の 4 分の 1 を占めるに至っている。(図 2-3 参照) そのほか、若年者の山村離れによる後継者不足などの問題も深刻化している。

(図 2-3) 林業就業者数及び高齢化比率の推移



資料：総務省「H12 国勢調査」

⁽⁸⁾素材価格のうち製材用素材は製材工場、木材チップ用素材価格は木材チップ工場における工場着購入価格

iii. 林業経営にかかるコスト

林業就労者の減少により雇用労賃が上昇し、また、高齢化し個人での経営が困難になったことで、経営を他社に経営を請け負ってもらう場合には請負わせ料金がかかるなど、林業コストの増加が林業所得を大きく圧迫している。(表 2-6、図 2-4 参照)

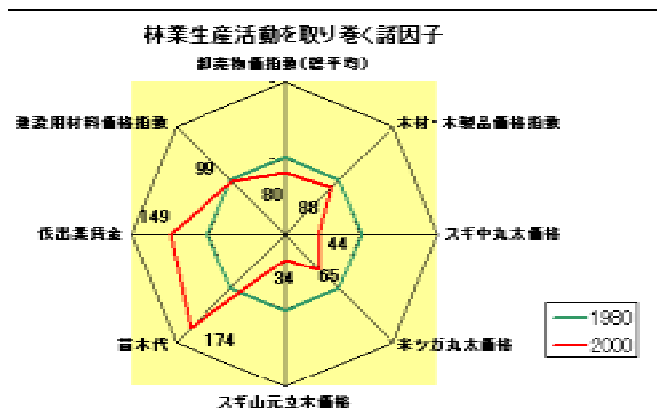
(表 2-6) 林家の林業経営収支(全国1戸当たり)単位：千円

区 分	平.15年度	14	対前年度 増減率(%)	
林業粗収益	2 751 (100.0)	2 575	6.8	
内 訳	立木販売	384 (14.0)	299	28.4
	素材生産	2 002 (72.8)	1 897	5.5
	その他	365 (13.3)	379	3.7
林業経営費	2 235 (100.0)	2 224	0.5	
内 訳	雇用労賃	428 (19.1)	449	4.7
	原木費	245 (11.0)	232	5.6
	機械修繕費	212 (9.5)	218	2.8
	賃借料及び料金	259 (11.6)	219	18.3
	請負わせ料金	645 (28.9)	622	3.7
林業所得	516	351	47.0	

(資料) 農林水産省統計
「林業経営統計調査平成 15 年度
林家の林業経営収支」より

注：()内の数値は構成割合を示す。

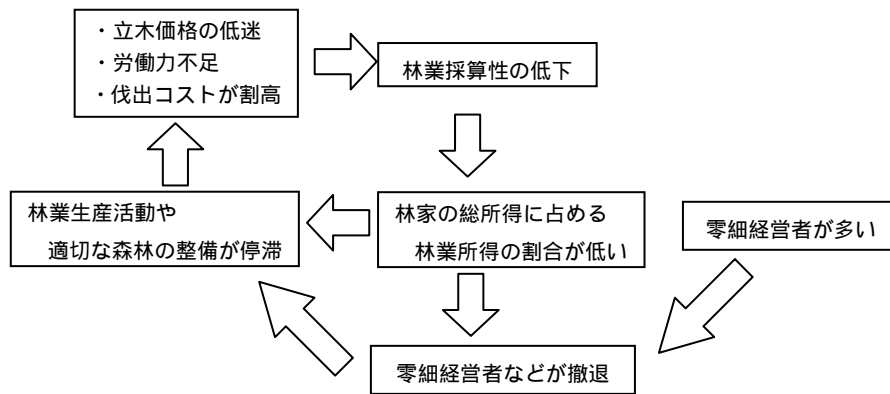
(図 2-4)



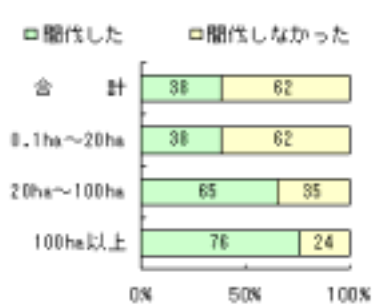
1980年を100としたときの2000年の指数
出典)「山村所有者の林業活動に対するアンケート」

以上の ~ でみてきたように、現在、素材価格の低迷、林業就業者数の減少、経営コストの増加が同時に起こっており、これらにより、林業における採算性は著しく低下している。(表 2-6)にあるように、全国1戸あたりの林業所得は年に51.6万円程度となっており、高齢化や後継者問題などのこともあり、零細経営者などは経営をやめてしまう例も少なくない。経営を放棄されてしまった森林では適切な管理が施されておらず、そのような維持管理の行われない森林の増加による森林の機能の低下が懸念される。それらの問題を解決するには林業の採算性を向上させ、林業を採算の取れる産業として確立する何らかの対策を講じる必要がある。第 2-5 節では現在国や地方自治体などで行われている対策について紹介し、第 3 章においてそれらの分析を行う。

(参考)



(参考) グラフ 間伐の実施状況(1997年のアンケート調査)



出典)「山村所有者の林業活動に対するアンケート」

2-5. 森林整備意欲向上に向けた対策

健全な森林を増やし、森林の持つ機能の向上させるため、経営者の自発的な森林の整備を促すことを目的とした対策が国や地方自治体などで行われている。この節では、これらの対策をいくつか取り上げ、見ていくことにする。

i. 「緊急間伐5カ年対策」(林野庁)

2000年度から5年間で150万haの森林を計画的に整備することを目標とし、市町村や森林所有者と協定を結び間伐を促進するほか、間伐材の利用促進、間伐材利用についての普及啓発などの施策を推進している。また、特に間伐が本格化する10月～11月には、間伐推進中央協議会などの団体と連携して、「間伐・間伐材利用コンクール」を開催するなど取り組みを強化している。

間伐促進の協定の仕組みは、市町村から「緊急間伐団地」の設定を受け、間伐実施の協定を結ぶことで、主に6～7齢級(樹齢26～35)の森林に対して間伐を行う際に、国、都道府県から約7割の補助を受けられるようになっている。補助を受けることで間伐にかかる費用は10～15万円/ha程度になり、間伐木の選木や集材方法、林道の整備など工夫次第で収入を上げることができる。この制度は、補助金によって経営コスト(特に間伐に関するもの)を軽減し、森林の整備を進めるものといえる。

ii. 地域通貨による森林吸収源買取制度(大分県)

平成15年8月、地球温暖化を防止する森林ボランティア活動を支援するため、大分県は森林ボランティア団体の森林づくり(植栽・下刈り)活動に対し、活動内容に応じた二酸化炭素吸量を計算し、その評価額に応じた金額を「緑のボランティア支援券」として支払う制度を創設した。支払われた支援券は県内の森林組合で金券として苗木や作業用具を購入できる。この制度は、地域通貨によってボランティアを促し、経営コスト(特に雇用労賃に関するもの)を軽減し、森林の整備を進めるものといえる。

iii. 森林認証・ラベリング

森林認証・ラベリングとは、持続可能な森林経営の行われている森林を第三者機関が認証し、そこから産出された木材を区分することにより、消費者が選択的にこれら木材を選別し購入できるようにする民間主体の制度。国際的には、「森林管理協議会」(FSC)^(*)や「PEFC」等複数の制度が存在し、欧州を中心として先進国で認証が進んでおり、日本でも、平成12年に初めて森林管理協議会の認証がされた。

また、日本独自の認証制度としても平成15年6月に「『緑の循環』認証会議」(SGEC)が発足し、人工林率の高さや小規模・零細な所有形態が多いといった日本の実情に対応した独自の審査基準・指針をもち、審査に当たり森林計画制度が活用されるなどの特色を持って

いる。平成 15 年 12 月には、約 880ha が初めて認証され、2004.11.12 現在、7 つの認証取得森林と 3 つの認定事業体が認証を受けている。この制度は、適正な管理を行った森林を認証することで、新たな付加価値を与え、林業経営者にとっての木材価格を引き上げるものといえる。

このように、森林整備の推進対策といっても様々な制度がある。第 3 章ではモデルをおき、理論的に分析することで、各推進対策の森林、またその CO₂ 吸収量に与える影響を考察し、それらを踏まえた上で、シンクによる吸収量の増加対策としてより良い制度の構築、実現可能性について検討していく。

^(*)FSC(森林管理協議会) : 1993 年に、環境団体、林産業者、先住民団体、林産物認証機関等により設立された非営利の会員制組織。会員は 69 カ国、588 機関で、認証林は 60 カ国 595 カ所(約 4200 万 ha)に及びます。日本には 15 カ所(約 18 万 ha)の認証林がある。(2004 年 2 月現在)

第 3 章 理論的分析・評価・検討

3-1. 基本モデルの設定

まず、各推進対策の分析に入る前にモデルの設定を行う。

i. 商業的木材体積

時間を連続的にとり、時点: $t > 0$ における 1 本分の商業的木材体積 (林業として将来的に伐採し売却する木材の体積) を $Q(t)$ とおく。樹木は年々成長していくが、その限界成長量: $dQ(t)/dt$ は逡減していく。また、過剰に密集した土地ではその限界成長量も鈍化する。そのため、 $dQ(t)/dt$ は本数密度: N (1ha あたりの本数、 $0 < N \leq \bar{N}$ 、 \bar{N} は 1ha に植えられる最大本数) の影響を受けるとし、

$$Q(t) = \gamma \sqrt{\bar{N} - N} \cdot e^{\alpha - \beta/t} \quad (\gamma, \alpha, \beta \text{ は非負の係数})$$

と表せると仮定する。このとき、限界成長量: $dQ(t)/dt$ は、

$$\frac{dQ(t)}{dt} = \frac{\beta \gamma \sqrt{\bar{N} - N}}{t^2} \cdot e^{\alpha - \beta/t}$$

であり、

$$\frac{d(dQ/dt)}{dN} = \frac{-\beta \gamma}{\sqrt{\bar{N} - N} \cdot t^2} \cdot e^{\alpha - \beta/t} < 0$$

となるので、本数密度が増加すると限界成長量は減少する。また、1ha あたりの総商業的木材体積は、 $N \cdot Q(t)$ と表せる。

ii. T 周期で伐採したときに得られるの純収入の割引現在価値の総和

次に、林業経営者が T 周期で伐採し、商業的木材として売却し、同じ土地に再植林することを繰り返した場合の純収入の割引現在価値の総和を見ていく。 p を商業的木材の単位当たりの価格、 c を伐採・再植林にかかる費用、 $e^{-\delta t}$ を割引因子とし、すべて既知で一定と仮定する。

このときの純収入の割引現在価値の総和 π は、

$$\begin{aligned} \pi &= (pNQ(T) - c)e^{-\delta T} (1 + e^{-\delta T} + e^{-2\delta T} + e^{-3\delta T} + \dots) \\ &= \frac{(pNQ(T) - c)e^{-\delta T}}{1 - e^{-\delta T}} \\ &= \frac{pNQ(T) - c}{e^{\delta T} - 1} \end{aligned}$$

となり、 π を最大化させる回転周期 (T^*) は $d\pi/dT^* = 0$ を満たさなければならないため、

$$d\pi / dT^* = (pNQ(T^*) - c)(-1)(e^{\delta T^*} - 1)^{-2} e^{\delta T^*} \delta + (e^{\delta T^*} - 1)^{-1} pNQ'(T^*) = 0$$

となる。つまりは

$$pNQ'(T^*) = \frac{\delta(pNQ(T^*) - c)}{1 - e^{-\delta T^*}}$$

を意味する。

iii. 平均 CO₂ 吸収量

さらに、この論文において中心となる CO₂ 吸収量について見ていく。京都議定書において森林等吸収源による吸収量の算出方法は、

$$[\text{炭素吸収量}] - [\text{木材供給量}] = [\text{京都議定書上の炭素吸収量}] \quad (\text{すべて炭素換算})$$

となっているので、純収入の割引現在価値の和の算出のところで用いた無限に続く時系列ではカーボンフリー⁽¹⁰⁾となることが予想される。そこで、今回の考察では伐採されるまでに蓄積した吸収量の平均を平均吸収量とし、この平均吸収量に着目し、森林等吸収源による吸収量の指標として用いる。

1ha の森林平均吸収量は、[伐採時の総商業的木材体積] / [植林から伐採までの年数]と表せるので、 T 周期で伐採した場合には、 $N \cdot Q(T) / T$ となる。

⁽¹⁰⁾カーボンフリー：二酸化炭素が増加しない、木を燃やすと CO₂ が出るがそれは元々大気中の CO₂ が固定された物なので大気中の CO₂ は増加しない。逆に、大気中の CO₂ を森林が固定し蓄積しても、伐採され、後に廃棄されるときに固定した CO₂ が大気中に放出される。これらのことを、地中や海底に固定されている CO₂ を開放する化石燃料と区別してカーボンフリーと呼ぶ。

3-2. 間伐の実施が与える影響

後に必要となってくるので、間伐の実施や、木材価格・伐採コスト・間伐コストの変化が与える影響もここで見ておく。それに先立ち、以下のことを仮定としておく。

- 間伐 τ : τ 期に本数密度を $N_i \rightarrow N_j$ とする間伐 ($N_i > N_j$)
- $dQ_i(t)/dt$: 本数密度が N_i のときの限界成長量
- $Q_\tau(T)$: 間伐 τ を行った場合の T 期の商業的木材体積 ($+0 < \tau < T$)
- c_τ : 間伐 τ を行ったことで発生した、間伐費用などの新たな費用
- π_τ : 間伐を行った場合の純収入の割引現在価値の総和

$$\begin{aligned}\pi_\tau &= (pN_j Q_\tau(T) - c - c_\tau) e^{-\delta T} (1 + e^{-\delta T} + e^{-2\delta T} + e^{-3\delta T} + \dots) \\ &= \frac{pN_j Q_\tau(T) - c - c_\tau}{e^{\delta T} - 1}\end{aligned}$$

- π_τ を最大化させる回転周期 (T_τ^*) の前後では本数密度は既に N_j になっていて、限界成長量は逡減している

$$\text{つまり、} \frac{d}{dT_\tau^*} Q_\tau(T_\tau^*) = \frac{dQ_j(T_\tau^*)}{dT_\tau^*} \text{ かつ}$$

$$\begin{aligned}& \frac{d^2}{d(T_\tau^*)^2} Q_\tau(T_\tau^*) \\ &= \frac{d}{dT_\tau^*} (dQ_j(T_\tau^*)/dT_\tau^*) \\ &= \frac{d}{dT_\tau^*} \left(\frac{\beta\gamma\sqrt{\bar{N} - N_j}}{(T_\tau^*)^2} \cdot e^\alpha \cdot e^{-\beta/T_\tau^*} \right) \\ &= \beta\gamma\sqrt{\bar{N} - N_j} \cdot e^\alpha \left(\frac{d}{dT_\tau^*} (T_\tau^*)^{-2} \cdot e^{-\beta/T_\tau^*} + (T_\tau^*)^{-2} \cdot \frac{d}{dT_\tau^*} \left(e^{-\beta/T_\tau^*} \right) \right) \\ &= \beta\gamma\sqrt{\bar{N} - N_j} \cdot e^\alpha \left(-2(T_\tau^*)^{-3} \cdot e^{-\beta/T_\tau^*} + (T_\tau^*)^{-2} (-\beta)(-1)(T_\tau^*)^{-2} \cdot e^{-\beta/T_\tau^*} \right) \\ &= \beta\gamma\sqrt{\bar{N} - N_j} \cdot e^\alpha \cdot e^{-\beta/T_\tau^*} (T_\tau^*)^{-4} (\beta - 2T_\tau^*)\end{aligned}$$

であり、基本モデルでの仮定から既に $\beta, \gamma, \sqrt{\bar{N} - N_j}, e^\alpha, e^{-\beta/T_\tau^*}, (T_\tau^*)^{-4} > 0$ なので、新たに

$$\left[\frac{d^2 Q_\tau(T_\tau^*)}{d(T_\tau^*)^2} < 0 \right] \Leftrightarrow [\beta - 2T_\tau^* < 0] \Leftrightarrow [T_\tau^* > \beta/2]$$

という仮定を置く。

- $0 = +0$ (正の方向から限りなく0に近づいた値、) また、このとき $e^{\alpha-\beta/+0} = +0$)

i. 限界成長量に与える影響

まず、限界成長量 ($dQ_\tau(t)/dt$) について見ていくと、

$$dQ_\tau(t)/dt = dQ_j(t)/dt = \frac{\beta\gamma\sqrt{\bar{N}-N_j}}{t^2} \cdot e^{\alpha-\beta/t}, \quad N_i > N_j, \quad e^{\alpha-\beta/t} \geq +0, \quad \alpha, \beta, \gamma > 0$$

であり、 $\sqrt{\bar{N}-N_i} < \sqrt{\bar{N}-N_j}$ であることから、 $dQ_i(t)/dt < dQ_j(t)/dt$ となる。これは、間伐を行ったことで本数密度が低下しているため、同じ t 期であっても限界成長量が大いことがわかる。

ii. 商業的木材体積に与える影響

次に、商業的木材体積 ($Q_\tau(T)$) についてみていく。

$Q_\tau(T)$ は、 $+0$ 期から T 期まで限界成長量を足し合わせたものなので、

$$Q_\tau(T) = \int_{+0}^{\tau} \left(dQ_i(t)/dt \right) dt + \int_{\tau}^T \left(dQ_j(t)/dt \right) dt$$

と表せる。さらに式を展開していくと、

$$\begin{aligned} Q_\tau(T) &= \left[\gamma\sqrt{\bar{N}-N_i} \cdot e^{\alpha-\beta/t} \right]_{+0}^{\tau} + \left[\gamma\sqrt{\bar{N}-N_j} \cdot e^{\alpha-\beta/t} \right]_{\tau}^T \\ &= \gamma\sqrt{\bar{N}-N_i} \left(e^{\alpha} \cdot e^{-\beta/\tau} - e^{\alpha} \cdot (+0) \right) + \gamma\sqrt{\bar{N}-N_j} \left(e^{\alpha} \cdot e^{-\beta/T} - e^{\alpha} \cdot e^{-\beta/\tau} \right) \\ &= \gamma\sqrt{\bar{N}-N_i} \cdot e^{\alpha} \left\{ e^{-\beta/\tau} + \frac{\sqrt{\bar{N}-N_j}}{\sqrt{\bar{N}-N_i}} \left(e^{-\beta/T} - e^{-\beta/\tau} \right) \right\} \\ &\quad \left\{ e^{-\beta/\tau} + \frac{\sqrt{\bar{N}-N_j}}{\sqrt{\bar{N}-N_i}} \left(e^{-\beta/T} - e^{-\beta/\tau} \right) \right\} \quad \dots \end{aligned}$$

となる。ここで、 $e^{-\beta/T}$ と $e^{-\beta/\tau}$ の大小比較をしていくと、

$$\begin{aligned}
-e^{-\beta/T} &= \left\{ e^{-\beta/\tau} + \frac{\sqrt{\bar{N}-N_j}}{\sqrt{\bar{N}-N_i}} \left(e^{-\beta/T} - e^{-\beta/\tau} \right) \right\} - e^{-\beta/T} \\
&= -e^{-\beta/\tau} \left(\frac{\sqrt{\bar{N}-N_j}}{\sqrt{\bar{N}-N_i}} - 1 \right) + e^{-\beta/T} \left(\frac{\sqrt{\bar{N}-N_j}}{\sqrt{\bar{N}-N_i}} - 1 \right) \\
&= \left(e^{-\beta/T} - e^{-\beta/\tau} \right) \left(\frac{\sqrt{\bar{N}-N_j}}{\sqrt{\bar{N}-N_i}} - 1 \right)
\end{aligned}$$

となり、まず、 $\left(e^{-\beta/T} - e^{-\beta/\tau} \right)$ は、 $(+0 < \tau < T)$ であることから、 $+0 < e^{-\beta/\tau} < e^{-\beta/T}$ であり、

$\left(e^{-\beta/T} - e^{-\beta/\tau} \right) > 0$ となる。また、 $\left(\frac{\sqrt{\bar{N}-N_j}}{\sqrt{\bar{N}-N_i}} - 1 \right)$ は、 $(\sqrt{\bar{N}-N_i} < \sqrt{\bar{N}-N_j})$ であることから、

$$\frac{\sqrt{\bar{N}-N_j}}{\sqrt{\bar{N}-N_i}} > 1 \Leftrightarrow \left(\frac{\sqrt{\bar{N}-N_j}}{\sqrt{\bar{N}-N_i}} - 1 \right) > 0 \text{ となる。}$$

以上のことから、 $\left(-e^{-\beta/T} \right) > 0 \Leftrightarrow > e^{-\beta/T}$ であり、間伐を行わなかったときの $Q(T)$ 、

$$Q(T) = \gamma \sqrt{\bar{N}-N_i} \cdot e^{-\beta/T}$$

よりも $Q_\tau(T)$ の方が大きいことが示され、その差 $(Q_\tau(T) - Q(T))$ は、

$$Q_\tau(T) - Q(T) = \gamma \sqrt{\bar{N}-N_i} \cdot e^\alpha \left(e^{-\beta/T} - e^{-\beta/\tau} \right) \left(\frac{\sqrt{\bar{N}-N_j}}{\sqrt{\bar{N}-N_i}} - 1 \right)$$

となる。

iii. 最適回転周期に与える影響

最適回転周期についてみていくと、間伐を行った場合の最適回転周期 (T_τ^*) は

$d\pi_\tau/dT_\tau^* = 0$ 、つまり、

$$pN_j \left(\frac{d}{dT_\tau^*} Q_\tau(T_\tau^*) \right) = \frac{\delta(pN_j Q_\tau(T_\tau^*) - c - c_\tau)}{1 - e^{-\delta T_\tau^*}}$$

で、さらに伐採の時点では既に本数密度は N_j になっていると仮定しているので、

$$pN_j \left(\frac{dQ_j(T_\tau^*)}{dT_\tau^*} \right) = \frac{\delta(pN_j Q_\tau(T_\tau^*) - c - c_\tau)}{1 - e^{-\delta T_\tau^*}}$$

という式を満たしていなければならない。この式をさらに変形していくと、

$$\begin{aligned} (1 - e^{-\delta T_\tau^*}) pN_j \left(\frac{dQ_j(T_\tau^*)}{dT_\tau^*} \right) &= \delta(pN_j Q_\tau(T_\tau^*) - c - c_\tau) \\ (1 - e^{-\delta T_\tau^*}) pN_j \left(\frac{dQ_j(T_\tau^*)}{dT_\tau^*} \right) - \delta pN_j Q_\tau(T_\tau^*) &= -\delta(c + c_\tau) \\ (1 - e^{-\delta T_\tau^*}) \left(\frac{dQ_j(T_\tau^*)}{dT_\tau^*} \right) - \delta Q_\tau(T_\tau^*) &= \frac{-\delta(c + c_\tau)}{pN_j} \\ (1 - e^{-\delta T_\tau^*}) \left(\frac{dQ_j(T_\tau^*)}{dT_\tau^*} \right) - \delta Q_\tau(T_\tau^*) &= \frac{-\delta(c + c_\tau)}{pN_j} \quad \dots \end{aligned}$$

となり、 T_τ^* はこの式を満たしていなければならないとも言える。つまり、最適回転周期(T_τ^*)は p 、 c 、 c_τ からなる関数であると考えられ、 $T_\tau^* = T_\tau^*(p, c, c_\tau)$ とも表せる。ここでは簡略化のため、

$$A = \frac{-\delta(c + c_\tau)}{pN_j}, \quad T_\tau^* = T_\tau^*(A)$$

とにおいて、右辺の値(A)の変化による T_τ^* の変化を調べていく。

まず、式の両辺を A で微分すると、

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial T_\tau^*} (1 - e^{-\delta T_\tau^*}) \cdot \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} \cdot \left(\frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \right) + (1 - e^{-\delta T_\tau^*}) \frac{\partial}{\partial T_\tau^*} \left(\frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \right) \cdot \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} - \delta \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} &= 1 \\ \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} \left[\delta \cdot e^{-\delta T_\tau^*} \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} + (1 - e^{-\delta T_\tau^*}) \frac{\partial^2 Q_j(T_\tau^*)}{\partial (T_\tau^*)^2} - \delta \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \right] &= 1 \\ \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} \left[\frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} (-\delta)(1 - e^{-\delta T_\tau^*}) + (1 - e^{-\delta T_\tau^*}) \frac{\partial^2 Q_j(T_\tau^*)}{\partial (T_\tau^*)^2} \right] &= 1 \\ \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} (1 - e^{-\delta T_\tau^*}) \left(\frac{\partial^2 Q_j(T_\tau^*)}{\partial (T_\tau^*)^2} - \delta \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \right) &= 1 \quad \dots \end{aligned}$$

と変形できる。またこの式の

$$\left(\frac{\partial^2 Q_j(T_\tau^*)}{\partial (T_\tau^*)^2} - \delta \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \right)$$

の部分は、

$$\frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} = \frac{\beta\gamma\sqrt{\bar{N}-N_j}}{(T_\tau^*)^2} \cdot e^\alpha \cdot e^{-\beta/T_\tau^*},$$

$$\frac{\partial^2 Q_j(T_\tau^*)}{\partial (T_\tau^*)^2} = \frac{\beta\gamma\sqrt{\bar{N}-N_j}}{(T_\tau^*)^4} \cdot e^\alpha \cdot e^{-\beta/T_\tau^*} (\beta - 2T_\tau^*)$$

であることを用いると、

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial^2 Q_j(T_\tau^*)}{\partial (T_\tau^*)^2} - \delta \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \right) \\ &= \frac{\beta\gamma\sqrt{\bar{N}-N_j}}{(T_\tau^*)^4} \cdot e^\alpha \cdot e^{-\beta/T_\tau^*} (\beta - 2T_\tau^*) - \delta \frac{\beta\gamma\sqrt{\bar{N}-N_j}}{(T_\tau^*)^2} \cdot e^\alpha \cdot e^{-\beta/T_\tau^*} \\ &= \frac{\beta\gamma\sqrt{\bar{N}-N_j}}{(T_\tau^*)^4} \cdot e^\alpha \cdot e^{-\beta/T_\tau^*} (\beta - 2T_\tau^* - \delta(T_\tau^*)^2) \end{aligned}$$

と変形できる。さらにこの式の $(\beta - 2T_\tau^* - \delta(T_\tau^*)^2)$ の部分に着目し、

$f(T_\tau^*) = \beta - 2T_\tau^* - \delta(T_\tau^*)^2$ と置くと、

$$f(T_\tau^*) = \beta - 2T_\tau^* - \delta(T_\tau^*)^2 = -\delta\left(T_\tau^* + \frac{1}{\delta}\right)^2 + \frac{1}{\delta} + \beta$$

であり、軸が $T_\tau^* = -\frac{1}{\delta}$ 、y 切片が $f(0) = \beta$ で、上に凸

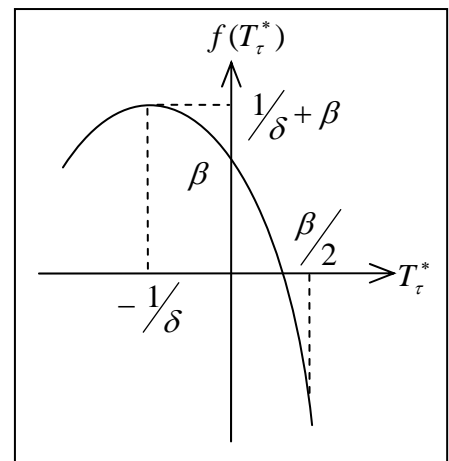
な放物線であることがわかる。さらに

$$f\left(\frac{\beta}{2}\right) = \beta - 2 \cdot \frac{\beta}{2} - \delta\left(\frac{\beta}{2}\right)^2 = -\frac{\delta\beta^2}{4} < 0$$

であることを考えると、この曲線は右の(図 3-1)のような形状をしていると考えられる。このことから、仮定を置いて考

えている $T_\tau^* > \frac{\beta}{2}$ の状況では $f(T_\tau^*)$ は常に負の値をとることがわかる。

(図 3-1)



このことを踏まえてもう一度 式に戻ってみると、 式は

$$\frac{\partial T_{\tau}^*}{\partial A} \left(1 - e^{-\delta T_{\tau}^*}\right) \frac{\beta \gamma \sqrt{N - N_j}}{(T_{\tau}^*)^4} \cdot e^{\alpha} \cdot e^{-\beta/T_{\tau}^*} \cdot f(T_{\tau}^*) = 1$$

$$\frac{\partial T_{\tau}^*}{\partial A} = \frac{(T_{\tau}^*)^4 e^{-\alpha} \cdot e^{\beta/T_{\tau}^*}}{\left(1 - e^{-\delta T_{\tau}^*}\right) \beta \gamma \sqrt{N - N_j} \cdot f(T_{\tau}^*)}$$

となる。これらの符号を確認すると、

$$(T_{\tau}^*)^4 > 0, e^{-\alpha} > 0, e^{\beta/T_{\tau}^*} > 0, \left(1 - e^{-\delta T_{\tau}^*}\right) > 0,$$

$$\beta > 0, \gamma > 0, \sqrt{N - N_j} > 0, f(T_{\tau}^*) < 0$$

となるので、 $\frac{\partial T_{\tau}^*}{\partial A} < 0$ となることがわかる。つまり、 A の値が増加すると T_{τ}^* は減少するという
ことである。この結果を p 、 c 、 c_{τ} の変化に照らし合わせ、まとめると以下の(表 3-1)のようになる。

(表 3-1) 最適回転周期に与える影響

	A の値	T_{τ}^* の値	
p の増加(減少)	増加(減少)	減少(増加)	$\frac{\partial T_{\tau}^*}{\partial p} < 0$
c の増加(減少)	減少(増加)	増加(減少)	$\frac{\partial T_{\tau}^*}{\partial c} > 0$
c_{τ} の増加(減少)	減少(増加)	増加(減少)	$\frac{\partial T_{\tau}^*}{\partial c_{\tau}} > 0$

iv. 商業的木材体積に与える影響

最適回転周期における商業的木材体積 ($N_j \cdot Q_{\tau}(T_{\tau}^*)$) は T_{τ}^* 、 p 、 c 、 c_{τ} からなる関数と

考え、最適条件である 式を変形させていくと、

$$\left(1 - e^{-\delta T_{\tau}^*}\right) \left(\frac{dQ_j(T_{\tau}^*)}{dT_{\tau}^*}\right) - \delta Q_{\tau}(T_{\tau}^*) = \frac{-\delta(c + c_{\tau})}{pN_j} \quad \dots$$

$$\left(1 - e^{-\delta T_{\tau}^*}\right) \left(\frac{dQ_j(T_{\tau}^*)}{dT_{\tau}^*}\right) + \frac{\delta(c + c_{\tau})}{pN_j} = \delta Q_{\tau}(T_{\tau}^*)$$

$$\therefore N_j \cdot Q_{\tau}(T_{\tau}^*, p, c, c_{\tau}) = N_j \left(\frac{1 - e^{-\delta T_{\tau}^*}}{\delta}\right) \left(\frac{dQ_j(T_{\tau}^*)}{dT_{\tau}^*}\right) + \frac{(c + c_{\tau})}{p}$$

と表せる。

また、ここでも簡略化のため、 $A = \frac{-\delta(c + c_\tau)}{pN_j}$ 、とおくと、

$$N_j \cdot Q_\tau(T_\tau^*, p, c, c_\tau) = N_j \left(\frac{1 - e^{-\delta T_\tau^*}}{\delta} \right) \left(\frac{dQ_j(T_\tau^*)}{dT_\tau^*} \right) - \frac{N_j}{\delta} A \quad \dots$$

と表され、 A の変化が $Q_\tau(T_\tau^*)$ に与える影響をみていく。

まず、両辺を A で微分し変形すると、

$$\begin{aligned} & N_j \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} \\ &= N_j \frac{\partial}{\partial T_\tau^*} \left(\frac{1 - e^{-\delta T_\tau^*}}{\delta} \right) \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} + N_j \left(\frac{1 - e^{-\delta T_\tau^*}}{\delta} \right) \frac{\partial}{\partial T_\tau^*} \left(\frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \right) \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} - \frac{N_j}{\delta} \\ & \left(1 - e^{-\delta T_\tau^*} \right) \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} = \left(\frac{1 - e^{-\delta T_\tau^*}}{\delta} \right) \frac{\partial^2 Q_j(T_\tau^*)}{\partial (T_\tau^*)^2} \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} - \frac{1}{\delta} \\ & \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} = \frac{1}{\delta} \left[\frac{\partial^2 Q_j(T_\tau^*)}{\partial (T_\tau^*)^2} \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} - \frac{1}{1 - e^{-\delta T_\tau^*}} \right] \end{aligned}$$

と変形できる。ここで、

$$\frac{\partial^2 Q_\tau(T_\tau^*)}{d(T_\tau^*)^2} = \frac{\beta\gamma\sqrt{\bar{N} - N_j}}{(T_\tau^*)^4} \cdot e^\alpha \cdot e^{-\beta/T_\tau^*} (\beta - 2T_\tau^*)$$

$$\frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} = \frac{(T_\tau^*)^4 e^{-\alpha} \cdot e^{\beta/T_\tau^*}}{(1 - e^{-\delta T_\tau^*}) \beta\gamma\sqrt{\bar{N} - N_j} \cdot f(T_\tau^*)}$$

$$f(T_\tau^*) = \beta - 2T_\tau^* - \delta(T_\tau^*)^2$$

であることを踏まえると、

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} &= \frac{1}{\delta} \left[\frac{\beta - 2T_\tau^*}{(1 - e^{-\delta T_\tau^*}) (\beta - 2T_\tau^* - \delta(T_\tau^*)^2)} - \frac{1}{1 - e^{-\delta T_\tau^*}} \right] \\ &= \frac{1}{\delta} \frac{\beta - 2T_\tau^* - (\beta - 2T_\tau^* - \delta(T_\tau^*)^2)}{(1 - e^{-\delta T_\tau^*}) (\beta - 2T_\tau^* - \delta(T_\tau^*)^2)} \\ &= \frac{1}{\delta} \frac{\delta(T_\tau^*)^2}{(1 - e^{-\delta T_\tau^*}) (\beta - 2T_\tau^* - \delta(T_\tau^*)^2)} \end{aligned}$$

と表せ、

$$\delta > 0, T_\tau^* > 0, (1 - e^{-\delta T_\tau^*}) > 0, (\beta - 2T_\tau^* - \delta(T_\tau^*)^2) = f(T_\tau^*) < 0$$

であることから、

$$\frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \frac{\partial T_\tau^*}{\partial A} < 0$$

であるといえ、つまり、 A の値が増加すると $Q_\tau(T_\tau^*)$ 、 $(N_j \cdot Q_\tau(T_\tau^*))$ は減少するということである。この結果を p 、 c 、 c_τ の変化に照らし合わせ、まとめると以下の(表 3-2)のようになる。

(表 3-2) 商業的木材体積に与える影響

	A の値	$Q_\tau(T_\tau^*)$ の値	
p の増加(減少)	増加(減少)	減少(増加)	$\frac{\partial Q(T_\tau^*)}{\partial p} < 0$
c の増加(減少)	減少(増加)	増加(減少)	$\frac{\partial Q(T_\tau^*)}{\partial c} > 0$
c_τ の増加(減少)	減少(増加)	増加(減少)	$\frac{\partial Q(T_\tau^*)}{\partial c_\tau} > 0$

v. 平均 CO_2 吸収量に与える影響

間伐を行う場合の最適回転周期 (T_τ^*) で伐採した際の平均 CO_2 吸収量は $N_j Q_\tau(T_\tau^*)/T_\tau^*$ と表せ、この $N_j Q_\tau(T_\tau^*)/T_\tau^*$ が p 、 c 、 c_τ の変化によってどのように変わっていくのを見たい。

まず、ここでも簡略化のため、 $A = \frac{-\delta(c + c_\tau)}{pN_j}$ 、 $T_\tau^* = T_\tau^*(A)$ と置き、 $N_j Q_\tau(T_\tau^*)/T_\tau^*$ をA

で微分すると、

$$\frac{\partial}{\partial T_\tau^*} \left(\frac{N_j Q_\tau(T_\tau^*)}{T_\tau^*} \right) \frac{\delta T_\tau^*}{\partial A} = \frac{N_j}{(T_\tau^*)^2} \left(\frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \cdot T_\tau^* - Q_\tau(T_\tau^*) \right) \quad \dots$$

となる。ここで、式の

$$N_j \cdot Q_\tau(T_\tau^*, p, c, c_\tau) = N_j \left(\frac{1 - e^{-\delta T_\tau^*}}{\delta} \right) \left(\frac{dQ_j(T_\tau^*)}{dT_\tau^*} \right) - \frac{N_j}{\delta} A \quad \dots$$

を用いると、式は

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial T_\tau^*} \left(\frac{N_j Q_\tau(T_\tau^*)}{T_\tau^*} \right) \frac{\delta T_\tau^*}{\partial A} &= \frac{N_j}{(T_\tau^*)^2} \left[\frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \cdot T_\tau^* - \left(\frac{1 - e^{-\delta T_\tau^*}}{\delta} \right) \left(\frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \right) + \frac{1}{\delta} A \right] \\ &= \frac{N_j}{\delta (T_\tau^*)^2} \left[\frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} (\delta T_\tau^* - 1 + e^{-\delta T_\tau^*}) + A \right] \end{aligned}$$

と表せる。そこで、この式の $(\delta T_\tau^* - 1 + e^{-\delta T_\tau^*})$ の部分に着目し、

$$g(T_\tau^*) = \delta T_\tau^* - 1$$

$$h(T_\tau^*) = -e^{-\delta T_\tau^*}$$

$$(\delta T_\tau^* - 1 + e^{-\delta T_\tau^*}) = g(T_\tau^*) - h(T_\tau^*)$$

とおくと、

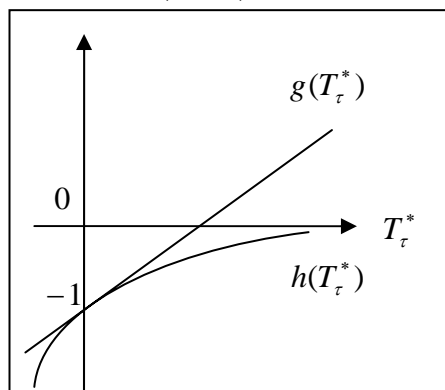
$$g(0) = -1, g'(0) = \delta$$

$$h(0) = -1, h'(0) = \delta$$

より、 $g(T_\tau^*), h(T_\tau^*)$ は右の(3-2)のような形状をし

ており、常に $g(T_\tau^*) \geq h(T_\tau^*)$ である。

(図 3-2)



また、 $N_j > 0, \delta > 0, T_\tau^* > 0, \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} > 0, A > 0$ であることから、

$$\frac{\partial}{\partial T_\tau^*} \left(\frac{N_j Q_\tau(T_\tau^*)}{T_\tau^*} \right) \frac{\delta T_\tau^*}{\partial A} > 0$$

であることがわかり、つまり、 A の値が増加すると $N_j Q_\tau(T_\tau^*)/T_\tau^*$ も増加するということである。

この結果を p 、 c 、 c_τ の変化に照らし合わせ、まとめると以下の(表 3-3)のようになる。

(表 3-3)平均 CO₂ 吸収量に与える影響

	A の値	$N_j Q_\tau(T_\tau^*)/T_\tau^*$ の値	
p の増加(減少)	増加(減少)	増加(減少)	$\frac{\partial}{\partial p} (N_j Q_\tau(T_\tau^*)/T_\tau^*) > 0$
c の増加(減少)	減少(増加)	減少(増加)	$\frac{\partial}{\partial c} (N_j Q_\tau(T_\tau^*)/T_\tau^*) < 0$
c_τ の増加(減少)	減少(増加)	減少(増加)	$\frac{\partial}{\partial c_\tau} (N_j Q_\tau(T_\tau^*)/T_\tau^*) < 0$

vi. 純収入の割引現在価値の総和に与える影響

間伐を行い、さらに最適回転周期で伐採した場合の純収入の割引現在価値の総和(以下、

総利潤: $\pi_\tau(T_\tau^*)$)は、

$$\pi_\tau(T_\tau^*) = \frac{pN_j Q_\tau(T_\tau^*) - c - c_\tau}{e^{\delta T_\tau^*} - 1}$$

と表すことができる。また、最適条件である、

$$pN_j \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} = \frac{\delta(pN_j Q_\tau(T_\tau^*) - c - c_\tau)}{1 - e^{-\delta T_\tau^*}}$$

という式から、 $\pi_\tau(T_\tau^*)$ は

$$\begin{aligned} \pi_\tau(T_\tau^*) &= \frac{pN_j}{\delta} \frac{1 - e^{-\delta T_\tau^*}}{e^{\delta T_\tau^*} - 1} \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \\ &= \frac{pN_j}{\delta} \frac{(e^{-\delta T_\tau^*}) - e^{-\delta T_\tau^*}}{1 - e^{-\delta T_\tau^*}} \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \\ &= \frac{pN_j}{\delta} e^{-\delta T_\tau^*} \frac{\partial Q_j(T_\tau^*)}{\partial T_\tau^*} \end{aligned}$$

と変形できる。この式を踏まえて、 p 、 c 、 c_τ の変化が $\pi_\tau(T_\tau^*)$ に与える影響を考えると、まず、 p が上昇した場合、 T_τ^* が減少する。それを受けて、 $e^{-\delta T_\tau^*}$ は増加する。また、 $\partial Q_j(T_\tau^*)/\partial T_\tau^*$ も、 $\partial Q_j(T_\tau^*)/\partial T_\tau^* > 0$ 、 $\partial^2 Q_j(T_\tau^*)/\partial (T_\tau^*)^2 < 0$ であることから増加する。よって、 p が上昇することで $\pi_\tau(T_\tau^*)$ は増加すると言える。同様に、 c や c_τ が減少した場合にも T_τ^* が減少し、 $\pi_\tau(T_\tau^*)$ は増加すると言える。これらの関係をまとめると、以下の(表 3-4)のようになる。

(表 3-4) 総利潤に与える影響

	T_τ^* の値	$\partial Q_j(T_\tau^*)/\partial T_\tau^*$ の値	$\pi_\tau(T_\tau^*)$ の値	
p の増加(減少)	減少(増加)	増加(減少)	増加(減少)	$\partial \pi_\tau(T_\tau^*)/\partial p > 0$
c の増加(減少)	増加(減少)	減少(増加)	減少(増加)	$\partial \pi_\tau(T_\tau^*)/\partial c < 0$
c_τ の増加(減少)	増加(減少)	減少(増加)	減少(増加)	$\partial \pi_\tau(T_\tau^*)/\partial c_\tau < 0$

以上で見てきた、 p 、 c 、 c_τ の変化が最適回転周期、商業的木材体積、平均CO₂吸収量、純収入の割引現在価値の総和に与える影響を簡単にまとめたものが以下の(表 3-5)である。

(表 3-5) 各変数の変化が与える影響のまとめ

	A	T_τ^*	$Q_\tau(T_\tau^*)$	$N_j Q_\tau(T_\tau^*)/T_\tau^*$	$\pi_\tau(T_\tau^*)$
p の増加 (減少)	増加 (減少)	減少 (増加)	減少 (増加)	増加 (減少)	増加 (減少)
c の増加 (減少)	減少 (増加)	増加 (減少)	増加 (減少)	減少 (増加)	減少 (増加)
c_τ の増加 (減少)	減少 (増加)	増加 (減少)	増加 (減少)	減少 (増加)	減少 (増加)

この結果からわかることとして、 p の増加や c の減少など、便宜上置いた A を増加させるような変化があると、総利潤を最大化させる最適回転周期 (T_r^*) は短くなり、また、そのときの商業的木材体積 ($Q_r(T_r^*)$) も小さくなる。これは直感的には総利潤やシンクの平均 CO_2 吸収量が減少するように考えられるかもしれない。しかし、実際には総利潤も平均 CO_2 吸収量も増加するという結果になっている。これらはともに最適回転周期が短くなることからきており、平均 CO_2 吸収量については、回転周期を伸すことによる限界的な吸収量が平均吸収量を下回っていることを示しており、平均吸収量を最大化する回転周期は総利潤を最大化する周期よりも短いことが考えられる。また、総利潤については、 p の上昇などにより、より短い回転周期で大きな利潤を上げられるようになったことで、回転数を上げることができるようになったためだと考えられる。このように、価格の上昇やコストの削減など、林業経営者にとっての利益の向上につながる変化が、最適回転周期の短縮という現象を通じて、シンクによる平均 CO_2 吸収量の増加をも同時に達成することが可能であると言える。

この第 3-2 節での考察を踏まえ、第 3-3 節では、第 2-5 節においてあげた各対策が本論文で用いられているモデルではどのように表されるのか、また、そのメリット・デメリットを明らかにしていきたいと思う。

3-3. 推進対策の与える影響

この第3-3節では各推進対策が今回用いているモデルにおいてどのように定義されるのか、またその推進対策が実施されることで最適回転周期や、純収入の割引現在価値の総和、平均 CO₂ 吸収量にどのような影響を与えるのかを考察していく。また、モデルには現れてこない問題点などについても考えていきたいと思う。

i. 「緊急間伐5カ年対策」

まずは「緊急間伐5カ年対策」についてであるが、この制度は、市町村から「緊急間伐団地」の設定を受け、間伐実施の協定を結ぶことで、主に6~7 齢級(樹齢26~35)の森林に対して間伐を行う際に、国、都道府県から約7割の補助を受けられるものとなっている。つまり、補助金によって経営コスト(特に間伐に関するもの)を軽減し、森林の整備を進めるものといえる。

モデルに現れてくる影響としては、間伐 τ_i を行ったことで、間伐費用 (c_τ) が新たな費用として発生するが、政府からの補助金として、間伐費用の7割の補助が得られたと仮定する。よって、この制度を利用せずに間伐を行った場合に比べると、間伐コストが $0.7c_\tau$ 減少する効果をもたらす。この効果を(表3-5)に照らし合わせてみると、「 c_τ の減少」に当てはまるので、最適回転周期は短く、総利潤は多く、平均 CO₂ 吸収量も多くなることがわかる。

また、モデルに現れてこない影響としては、市町村から「緊急間伐団地」の設定・協定締結にかかる手間としてのコストや行政コストがかかることが予想され、また、補助金を出すための財源が必要となることが考えられる。

ii. 地域通貨による森林吸収源買取制度(大分県)

次に、「地域通貨による森林吸収源買取制度」については、森林ボランティア団体の森林づくり(植栽・下刈り)活動に対し、活動内容に応じた二酸化炭素吸収量を計算し、その評価額に応じた金額を「緑のボランティア支援券」として支払う制度であり、支払われた支援券は県内の森林組合で金券として苗木や作業用具を購入できるというものである。つまり、ボランティアによって間伐などにかかる労働力を調達し、経営コスト(特に雇用労賃に関するもの)を軽減し、森林の整備を進め、また、その労働の対価として地域通貨を用いることで補助金の場合のような新たな財源の必要性を克服しているといえるだろう。

この制度がモデルに与える影響としては、労働力をボランティアで補うことで経営コストの軽減を図っているなのでその分のコストが抑えられ、「 c または c_τ の減少」という効果をもたらす。この効果によって、最適回転周期は短く、総利潤は多く、平均 CO₂ 吸収量も多くなることがわかる。

また、モデルに現れてこない影響としては、この制度はボランティアと地域通貨によって支えられているため、労働の供給量が不確実である点、ボランティアが林業に関して素人である可能性もあり、行える作業に限界がある可能性がある点などが挙げられるだろう。

iii. 森林認証・ラベリング

最後に「森林認証・ラベリング」については、適切な管理が行われている森林に対して第三者機関が認証し、そこから産出された木材を区分することにより、消費者が選択的にこれら木材を選別し購入できるようにする制度であり、認証を得た森林から供給される木材に対して、新たな付加価値を与え、林業経営者にとっての木材価格を引き上げる制度であるといえる。

この制度はモデル上では、認証されることで新たな付加価値が生まれ、木材価格が上昇することが予測されるため、「 p の増加」という効果がもたらされるだろう。この効果を(表 3-5)に当てはめると、最適回転周期は短く、総利潤は多く、平均 CO_2 吸収量も多くなることがわかる。

モデル上に現れてこない効果としては、やはり認証取得にかかるコストが考えられ、また、発生した付加価値が価格上昇にどれだけ反映されるかは需要側の意識によって変わってくると考えられるため、価格の上昇が不確実であることも考えられる。

このように、これら 3 つの推進対策は、モデル上での効果は程度の差はあると思われるが同様の効果があると言える。しかし、モデル上には現れてはこない効果で様々な違いがあり、メリットとデメリットを併せ持っている。例えば、緊急間伐5カ年対策では、間伐を行う際に費用の 7 割という大きな補助を受けられ大いに効果があると考えられる。また、協定を結ぶという形で拘束力も十分にあると言えるだろう。しかし、補助金という性格上、それに見合うだけの財源を必要とするデメリットも存在する。一方、地域通貨による森林吸収源買取制度では、緊急間伐5カ年対策でのデメリットである財源の必要性は克服しているが、ボランティアに依存するということもあり、その効果が十分に発揮されるかどうかには疑いが残る。このように、ここで取り上げた推進対策にはメリットとデメリットが並存し、どの推進対策がもっとも望ましいかは一概には決められない。そこで次の第 3-4 節では、各推進対策のメリットを多く持ち合わせ、デメリットを可能な限り軽減することができる政策とし、環境省が 2005 年度から導入を始める「自主参加型国内排出量取引制度」を利用した森林整備推進対策を提案したいと思う。

3-4. 「自主参加型国内排出量取引制度」と推進対策への援用

この節では現在行われている推進対策のメリットを残しつつデメリットを軽減しうる対策として、「自主参加型国内排出量取引制度」を利用した政策の提案を行う。それに先立ち、まず、「自主参加型国内排出量取引制度」について簡単ながら述べ、その制度を利用した新たな制度について提案をし、その新制度の効果について考察していく。

i. 「自主参加型国内排出量取引制度」とは

自主参加型国内排出量取引制度とは、温室効果ガスの費用効率的かつ確実な削減と、国内排出量取引制度に関する知見・経験の蓄積を目的として、環境省が 2005 年度から開始するもので、温室効果ガスの排出削減に自主的・積極的に取り組もうとする事業者に対し、一定量の排出削減約束と引換えに、省エネルギー・石油代替エネルギーによる CO₂ 排出抑制設備の整備に対する補助金を交付することにより支援するとともに、排出削減約束達成のために排出枠の取引という柔軟性措置の活用も可能とする、という制度である。

自主参加型国内排出量取引制度への参加には、

[1] 目標保有参加者

一定量の排出削減を約束する代わりに、省エネ設備等の整備に対する補助金と排出枠の交付を受ける参加者。

[2] 取引参加者

補助金及び排出枠の交付は受けずに、排出枠等の取引のみを行うことを目的として、登録簿に口座を設け、取引を行う参加者。

という以上の2通りの方法があり、[1]の目標保有参加者に対する CO₂ 排出抑制設備の整備への補助金として、「自主削減目標設定に係る設備補助事業」(総額 30 億円)が 2005 年度予算案において用意されており、この設備補助事業において採択された対象事業者のみが、目標保有参加者として制度に参加できる。この対象事業者としては、民間企業と、国及び地方公共団体を除く、その他環境省が適当と認める者とされている。

また、この制度に目標保有参加者として参加する場合には、

[1] 省エネルギー・石油代替エネルギーによる CO₂ 排出抑制設備の整備に対する補助金の交付、さらに、自己負担分についても、日本政策投資銀行の優遇金利による融資の対象となる。

[2] 国内排出量取引制度に関する知見を収集。

[3] 温室効果ガス排出量の算定に習熟するとともに、検証機関の検証を受けることにより、自ら効果的に温暖化対策を講じていくための基盤が形成可能。

[4] 温暖化対策に積極的・先進的に取り組む企業としての PR。

などのメリットが考えられている。

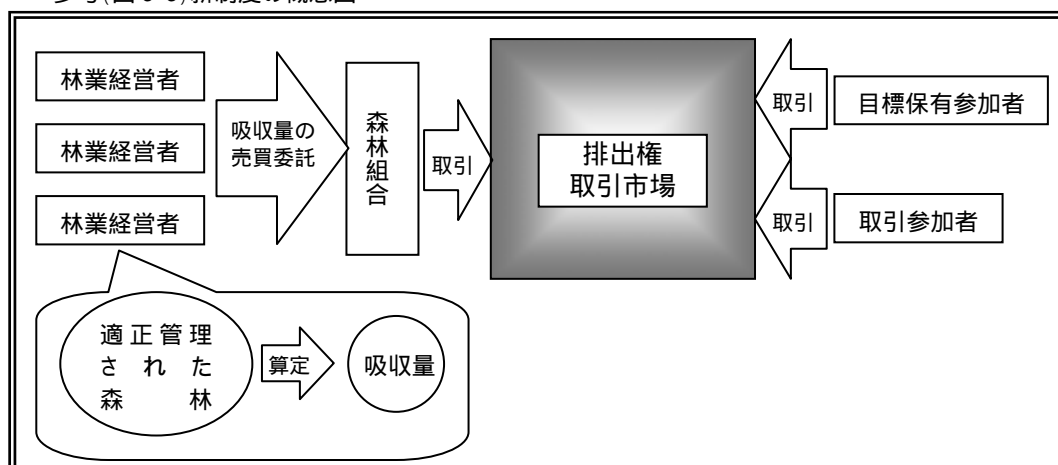
このように、この制度では補助金による省エネルギー・石油代替エネルギーによる CO₂ 排出

抑制設備の整備によって、CO₂排出量を削減することを主な目的としている。しかし、排出削減約束達成のために排出枠の取引という柔軟性措置の活用も可能としており、日本では初めての試みで大きな注目が集まっている。

ii. 「自主参加型国内排出量取引制度」を援用した新たな制度

その「自主参加型国内排出量取引制度」の「排出枠の取引」というものを用いて新たな制度を提案したいと思う。その仕組みとしては、「自主参加型国内排出量取引制度」の対象事業者を林業経営者にまで拡大させ、適切な森林管理の行われている森林の成長量(CO₂吸収量)に応じて、「自主参加型国内排出量取引制度」の排出枠を割り当て、取引市場での売買を可能にするというものである。CO₂吸収量の算定に関してはCDM植林の手法を用い、森林の成長量からその森林が吸収したCO₂の量を算定し、その量に見合った排出枠を、木材を売買する際に割り当てる。割り当てる時期を木材の売買の時点に限定した理由は、伐採をした時点で木の成長は止まり、炭素蓄積量を算定する際に必要な幹材積成長量や容積密度の測定が容易であるからである。また、木材売買の時点に割り当てることで、林業経営者にとっては木材に新たな付加価値が発生するという効果が与えられ、割り当てられた排出枠を売却した分の価格の上昇とみなせる。ただし、各林業経営者が個別に取引市場での売買を行うことは困難であることが予想できる。そのため、林業経営者側からの窓口としては森林組合を用い、割当排出枠の売買を森林組合に委託することで森林組合が一括して売買を行う。

*参考(図3-3)新制度の概念図



iii. 新制度の効果

上で述べた新制度の効果としては、排出枠が割り当てられることで木材に新たな付加価値が発生し、またその排出枠を売ることによって木材価格の上昇と同じ効果が得られる。そして第3-3節で考察したように、林業経営者にとって、最適回転周期は短くし、総利潤を増大させ、平均CO₂吸収量も増やすという効果がある。ただし、この制度では認証制度とは異なり、排出枠取引市場という確実に需要が存在する市場において取引されるため、経営者にとって確かな価

格上昇効果が期待でき、林業経営に与える影響は十分にあるといえる。また、林業に対しては補助金を出さないため、緊急間伐5カ年対策のような新たな財源の必要性といったデメリットも解決できる。ただし、吸収量算定にかかる手間や、排出枠取引市場での取引コストなどがかかることが予想され、吸収量算定作業や森林組合への委託のスリム化が必要である点で若干の課題が残ると言わざるを得ない。それでも緊急間伐5カ年対策や認証制度に比べれば手間や行政コストは削減できると思われ、現行の制度よりも望ましい制度として本論文において提唱したいと思う。

終章 考察のまとめ

以上見てきたように、現在地球ではCO₂濃度、平均表面気温、海上水位などが上昇しており、地球温暖化が急速に進行していると言える。また、将来的にはさらに地球温暖化・気候変動が進行し、大きな被害をもたらされる可能性が高く、こうした危機感から、国際的な枠組みで地球温暖化対策を推進しようという動きが強まっている。それらの国際的な枠組みでの温暖化対策として代表的なものとしては、「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」での研究や「気候変動枠組条約」、「気候変動枠組条約締約国会議(COP)」、「京都議定書」などが挙げられ、現在も進行しつつある地球温暖化に対して、各国が独自の対策を講じるだけでなく、先進諸国を中心とした国際的な枠組みで様々な地球温暖化対策が進められている。

それらの様々な地球温暖化対策の中でも、この論文では、日本の年間排出量の約3%にも上り、また、京都議定書に盛り込まれている「森林等吸収源(シンク)によるCO₂吸収量」に着目し、日本において、その効果を有効に行き届ける国内対策、システムについて考察をしてきた。しかし、その過程で、2008年から2012年の第1約束期間に年平均で1300万t-C/年(基準年の3.9%)の森林による二酸化炭素吸収量を確保するためには、我が国の約7割の森林がこの対象に認められる必要があるにもかかわらず、現状の整備水準で推移した場合には約束期間において「森林経営」として認められる森林は十分なものとはならず、その結果森林による二酸化炭素吸収量として算定される量は、3.9%を大幅に下回る恐れがあることがわかった。そのために、今現在も日本政府はシンクによる吸収量の増加に向け、数多くの政策を行っている。

その中で私が特に重要だと考えるのは、「地球温暖化対策推進大綱」や「地球温暖化防止森林吸収源10ヵ年対策」にも盛り込まれている、「健全な森林の整備による吸収機能の向上」である。さらに、その中でも「森林経営」による吸収源の増加が、削減目標を達成するための重要な鍵を握っていると考えた。しかし、現在の森林・林業を取り巻く情勢は厳しく、素材価格の低迷、林業就業者数の減少、経営コストの増加、高齢化や後継者問題など、様々な問題が根底にあり、林業における採算性は著しく低下している。そのため、経営を放棄してしまう経営者なども発生し、維持管理の行われない森林の増加しており、「森林経営」として認められるような適切な管理が十分に施されているとは言えない。それらの問題を解決するには林業の採算性を向上させ、林業を採算の取れる産業として確立する何らかの対策を講じる必要があると考え、現在国や地方自治体などで行われている対策について分析を行い、より良い制度の構築を目指してきた。

その分析によって、この論文で取り上げた「緊急間伐5ヵ年対策」、「地域通貨による森林吸収源買取制度」、「森林認証・ラベリング」には、健全な森林を増やし、森林の持つ機能を向上させるという効果はあると考えられる。しかし、新たな財源が必要であったり、人々の環境に対する意識やボランティアに対する意識によって効果の度合いが大きく変わってきたり、と多くの問題が残っており、どの推進対策がもっとも望ましいかは一概には決められない。そこでこの論文では、現在行われている推進対策のメリットを残しつつデメリットを軽減しうる対策として、「自主参加型国内排出量取引

制度」を利用した森林整備推進対策を提案した。この新たな制度では、既存の制度と同じようにシンクによる CO₂ 吸収量の増加と林業経営による総利潤の増加を同時に達成することができ、それに加えて新たな財源を必要とせず、排出枠取引市場というこれからの時代で確実な需要が見込める市場において取引されるため、十分な効果が期待でき、デメリットの克服を達成できると考えられる。ただし、吸収量算定コストや、取引コストなどがかかるとい課題が残ると言わざるを得ないが、それでも現行の制度に比べれば、その問題点も軽減されていると思われ、望ましい制度として本論文において提唱した。

このように、現在も急速に進行し続ける地球温暖化に対し、国際的な対策とともにそれをサポートしていく各国の取り組み、また各国独自の対策、または地方自治体ごとの対策など、様々なレベルでの対策が行われており、よりよい制度の構築を目指し、日夜模索されている。この論文において提唱した新制度も、現行の制度に比べ望ましい制度であると考えてはいるが、完全に解決できてはいない課題も残っており、さらに望ましい制度の構築が待たれる。そのような制度が将来構築されることを信じ、今後の地球温暖化の進行と各レベルでの対策を見守り続けていきたいと思う。

2005 年 2 月

大矢 隼人

< 参考資料 >

- ・ 『IPCC 地球温暖化第三次レポート』 (IPCC 編、中央法規出版、2002)
- ・ 『地球温暖化の日本への影響』 (環境省報告書、平成 13 年 3 月)
- ・ 『大気浄化植樹マニュアル』改訂版 (公害健康被害補償予防協会、1995)
- ・ 『新訂 地球温暖化と森林ビジネス「地球益をめざして」』
(小林紀之著(株)日本林業調査会、2004)
- ・ 『森林環境 2004』 (森林文化協会編著、築地書館、2004)
- ・ 「地球環境保全に関する関係閣僚会議(2002 年 7 月 19 日)」資料
(環境省地球環境局地球温暖化対策課)
- ・ 『平成 14 年木材需給報告書』 (農林水産省統計部編 16 年 3 月刊)
- ・ 『日本の森林による炭素蓄積量と炭素吸収量』
(松本光朗著、『森林科学』No33.2001 年 10 月、日本林学界発行)
- ・ 『森林計画学入門』 (田中和博著、森林計画学会出版局、1996)
- ・ 『資源経済学』 (J.M.コンラッド著、岡敏弘/中田実訳、岩波書店、2002)

< 参考 URL >

- ・ 環境省 <http://www.env.go.jp/>
- ・ 農林水産省 <http://www.maff.go.jp/>
- ・ 林野庁 <http://www.rinya.maff.go.jp/>
- ・ 環境報告書データベース <http://www.kankyohokoku.jp/>
- ・ 資源エネルギー庁 <http://www.enecho.meti.go.jp/>
- ・ 独立行政法人 森林総合研究所 <http://www.ffpri.affrc.go.jp/index-j.html>
- ・ 独立行政法人 国立環境研究所 <http://www.nies.go.jp/index-j.html>
- ・ 関東森林管理局 <http://www.kanto.kokuyurin.go.jp/>
- ・ 北海道立林業試験場 <http://www.hfri.bibai.hokkaido.jp/>
- ・ 全国林業労働力確保支援センター協議会 「N.W.森林(もり)いきいき」
<http://www.nw-mori.or.jp/index.html>
- ・ 木の情報発信基地 <http://wood.co.jp/>
- ・ 持続可能な森林経営のための勉強部屋
http://homepage2.nifty.com/fujiwara_studyroom/index.html