

[資料]

日本における緑地の大気浄化機能とその経済的評価

小川和雄* 三輪誠* 嶋田知英* 小川進**

1 はじめに

森林は太陽エネルギーを利用して、二酸化炭素(CO₂)と水から有機物を合成する唯一の「生産者」であり、木材資源の供給源となるばかりでなく、環境を保全し、人類の持続的発展に不可欠の機能を提供している。最近では、工業化、都市化する現代社会の中で、人間の「癒し」や教育の場としての必要性も再認識されるようになった。

ところで近年、世界では毎年1,540万haに達する熱帯林破壊が進行¹⁾し、そのため森林は、CO₂収支の面からは発生源になったとさえ評価されていた。1997年に京都で開催されたCOP3(気候変動枠組み条約第3回締約国会議)では、植林によるCO₂吸収量を各国の排出量から差し引くネットアプローチや、排出権取引が承認され、異論はあるものの、森林などのCO₂吸収量を推定する必要性が高まっている。もっとも、数100年のオーダーで考えれば、森林はCO₂を吸収して生長するが、やがて伐採や燃焼、あるいは腐朽・分解により再び大気中にCO₂を放出する。したがって森林の面積が変わらなければ、森林によるCO₂収支は±0である。しかし、急速に森林が減少し、CO₂濃度が上昇している現在、できるだけ森林にCO₂を貯蔵させ、大気中のCO₂増加を防ぐことは重要である。加えて、森林はCO₂吸収と同時に他の大気汚染物質も取り込むことから、それらを評価することも求められている。

一方、日本では輸入自由化による林業の崩壊や乱開発によって、森林の質的劣化が進んでいる。国有林野事業を独立採算制にしたことで生じた巨大な累積債務の扱いについても議論が交わされており、これまで、経済学的には評価されてこなかった森林の環境保全機能に適正な評価を与える必要性が高まってきている。このことは、例えば自動車が今の価格で買えるのは、大気汚染対策や廃棄費用等が税金で賄われてきたためであり、一方、森林、木材が極めて低価格なのは、森林が本来持っている様々な環境保全機能の価値が内部化されていなかったためである。このような経済的不平等を見直そうということである。

こうした中、森林・緑地の公益的機能に関する研究事例としては、1980年に農水省が「農用地および森林の有する公

益的機能」の経済的価値を発表して以降、研究例は徐々に増えている。しかし、その多くは水源涵養や土壌崩壊の防止機能等に関するもので、大気浄化については酸素の放出量がしばしば評価されてきたほかは、CO₂、NO_xなどの大気浄化量の推定や、その経済的評価に関する報告は数えるほどしかない。

森林等における炭素循環に関する研究は数多く取り組まれてきたが、不確定要素が大きく、この数年の間に改めて研究がはじめられている。そのため、少なくとも日本では森林の炭素固定能の経済的価値についての報告²⁾はほとんど見当たらない。

そこで、本報告では、既存の資料を用いて日本の森林等のもつ環境保全機能のうち、大気浄化機能について推定するとともに、その公益的価値の経済的評価を行った。ただし、環境という公共財は本来かけがいのないものであり、売買できる物ではないことから必ずしも経済的評価になじむ対象とは思えないが、それ故にこそ、使い放題で収奪、汚染されてきた。しかし、地球温暖化対策として炭素が現実に市場価値を持ち始めてきたことから、経済的評価は否応なく不可避の課題となりつつある。加えて現代社会では貨幣価値で表す方が広く理解されやすい。その方法についてはCVM法、ヘドニック法、トラベルコスト法等、様々提案されているが、本研究では対象が大気浄化機能であることから、身近で且つ、判断しやすい代替法を採用した。

2 方 法

2.1 緑地の持つ大気浄化機能の推定

2.1.1 大気浄化量の推定手法

植物は光合成を行い、CO₂を吸収して炭水化物を合成して成長する。CO₂は葉に分布している気孔から取り込まれるが、単位葉面積あたりのCO₂吸収速度は、気孔の開き具合と細胞液に取り込まれるCO₂がどれだけ早く気孔底から失われるかにかかっており、その大きさは植物種と気候条件で決定される。これは他の汚染物質についても当てはまるが、その場合はさらに、汚染物質の細胞液への溶け易さという要素が

*埼玉県環境科学国際センター 〒347-0115 埼玉県北葛飾郡騎西町上種足914
**宇都宮大学農学研究科 〒321-8505 栃木県宇都宮市峰町350

表1 単位面積たり純生産量、総生産量(単位・t/ha)

植生区分	純生産量Pn	Pn/Pg	総生産量Pg
田 稲のみ	10.8	0.6	18.0
二毛作	18.0	0.6	30.0
畑田	12.0	0.6	20.0
休耕田	5.0	0.6	8.3
畑 普通	12.0	0.6	20.0
牧草	8.0	0.6	13.3
無作付	5.0	0.6	8.3
樹園地	10.0	0.5	20.0
針葉樹人工林	14.0	0.3	46.7
天然林	11.0	0.3	36.7
広葉樹 落葉	9.0	0.5	18.0
常緑	20.0	0.3	66.7
竹林	10.0	0.5	20.0
無立木	8.0	0.5	16.0
都市公園	5.0	0.5	10.0
その他	5.0	0.5	10.0

表2 森林のCO₂吸収量地方較差補正係数

地方	補正係数	地方	補正係数
北海道	0.6	近畿	1.0
東北	0.8	中国	1.0
関東	0.9	四国	1.0
東山	0.8	九州	1.1
北陸	0.9	沖縄	1.3
東海	1.0		

環境庁：樹木による大気浄化効果の定量的評価法の検討

たがって、年間の純生産量から葉や小枝への配分量を差し引き、成長過程にある森林のCO₂固定量とした。

一般に、植物種、成長過程により同化産物の各器官への配分は異なるが、依田⁸⁾は多くの実測値を整理して、幹が40-50%、枝が10-20%、根が10-15%、葉が20-30%とまとめている。したがって、ここでは各器官への配分を範囲で示された値の中央値とし、落枝分を枝への配分の2分の1と仮定して、落葉落枝は32.5%、残り67.5%が森林へのCO₂固定分とした。なお、日本の森林は、天然林も含めて大半が成長過程にあり、リターの蓄積増加分だけ分解量を大きく見積もる可能性はある。

2)耕地・都市公園

耕地及び都市公園の単位面積当たりの純生産量は、岩城⁹⁾の値を基本としながら、田については、より細かく分類されている村田¹¹⁾の提案した値を用い、表1のように設定した。

耕地生態系および都市公園のC固定量はゼロとした。水田、畑地における炭素収支の研究は緒についたばかりであるが、基本的には農作物は1年間で消費され、CO₂として大半が大気中に戻ること、根などに残ったCも土壌呼吸を勘案すれば、どちらかといえば放出傾向にあることが報告されている^{12,13)}。耕地や都市公園の土壌有機物が減少傾向である

ことは、たびたび有機物補給が行われなければならないことから、容易に理解できよう。

2.1.4 大気浄化量の算出

1)CO₂吸収量およびC換算

CO₂吸収量は乾物量で示される純生産量をもとに、多糖類とCO₂の重量比1.63(=6CO₂/C₆H₁₀O₅)を乗じて算出した(図1)。CO₂のCへの換算は0.273(=C/CO₂)を乗じた。

2)NO₂、SO₂吸収量およびO₂吸収量

植物が気孔からCO₂を吸収する過程で汚染物質も同時に気孔内に取り込まれることから、三宅^{5,14)}はCO₂と汚染物質の面積当たり収着量の大きさを実測、解析して、CO₂濃度が350ppmの時の汚染物質吸収量を、植物の総生産量をもとに簡単に推定する以下のモデル式を提案した。

$$U_{NO_2}(\text{吸収量}) = 15.5 \times C_{NO_2}(\text{濃度}) \times Pg (\text{総生産量})$$

$$U_{SO_2}(\text{吸収量}) = 20.7 \times C_{SO_2}(\text{濃度}) \times Pg (\text{総生産量})$$

ここで、Pgは表1を、NO₂、SO₂濃度は1995年の一般環境大気測定局測定結果報告書(環境庁大気保全局大気規制課,1996)¹⁵⁾の各都道府県毎の全測定局の平均値を算出(表3)して用いた。

O₂放出量は光合成反応における両物質の重量比0.727(=6O₂/6CO₂)をCO₂吸収量に乗じて算出した。

表3 都道府県別のNO₂、SO₂濃度(1995年度、単位ppb)

都道府県名	NO ₂	SO ₂	都道府県名	NO ₂	SO ₂
北海道	10.8	4.2	滋賀	18.2	4.9
青森	10.3	3.9	京都	18.8	4.5
岩手	11.1	4.9	大阪	25.2	6.0
宮城	11.1	3.7	兵庫	20.9	5.3
秋田	6.8	3.5	奈良	17.3	4.8
山形	9.7	3.6	和歌山	12.1	5.6
福島	11.4	4.0	島根	9.0	5.3
茨城	13.9	4.2	鳥取	4.5	4.0
栃木	15.9	5.6	岡山	19.0	4.5
群馬	17.3	4.9	広島	15.7	6.4
埼玉	25.2	5.7	山口	16.5	6.0
千葉	18.3	6.0	徳島	10.2	5.0
東京	31.3	7.1	香川	18.5	7.3
神奈川	28.9	6.7	愛媛	17.0	7.1
新潟	10.7	3.8	高知	13.3	5.0
富山	10.9	3.4	福岡	18.4	5.0
石川	10.2	4.3	佐賀	9.8	4.0
福井	10.4	4.1	長崎	10.3	3.7
山梨	15.0	5.5	熊本	10.9	4.9
長野	11.9	4.6	大分	12.1	4.8
岐阜	17.8	6.7	宮崎	6.9	5.7
静岡	17.6	5.4	鹿児島	6.2	1.9
愛知	21.0	6.3	沖縄	4.8	1.6
三重	12.4	4.5			

環境庁大気保全局¹⁵⁾平成7年度一般環境測定局測定結果報告書より作表

2.2 緑地のもつ大気浄化機能の経済的評価

2.2.1 大気浄化による公益的価値の評価手法

自然環境の経済的評価は、利用価値に伴う有用性だけを対象にするものではなく、社会が「自然がそのまま存在して欲しい」と願う存在価値を含めて行われるべきであるが、後者を金銭で直接評価することは困難がある。

自然環境の経済的評価は、大別して個人の選好に依存する評価方法と個人の選好から独立した評価方法がある³⁰⁾といわれ、前者にはトラベルコスト法とヘドニック法、仮想評価法(CVM法:Contingent Valuation Method)があり、後者には代替法がある。

本研究で用いた代替法は前述したとおり、評価したい効果を市場で取り引きされている財やサービスで代替した場合に必要とされる費用で評価する方法で、考え方が理解しやすく、結果の恣意性も代替物を評価することで容易に判断できる。ただし、経済学的な認知度は低いと言われており、あくまでも目安と考えるべき³¹⁾とも言われている。したがって、C固定量の評価にあたっては国際的な炭素税の動向や排出権取引の予想額をも用いた。

ただし、本報告では大気浄化機能以外の様々な環境保全機能や存在価値の評価は含まれていない。

2.2.2 NO₂、SO₂吸収量、O₂放出量の代替価格

森林、農耕地などによるNO₂、SO₂吸収量の評価は、これまで活性炭に吸着させた場合の活性炭価格を用いたもの¹⁶⁾と、排煙脱硫装置の減価償却費および維持費で評価した事例¹⁷⁾があり、ここでは後者を選択した(表4)。

O₂放出については、現状では大気中に充分存在するため、あらためて評価に加えるのは説得力に欠ける面もある。しかし、市町村単位で考えれば、人間の呼吸のための酸素量もまかなえない地域は多く、過去の大気浄化に関する評価事例ではすべてO₂放出量が評価されているため、本研究では、それらと比較する意味合いも含め、前例に倣って工業用O₂価格で代替した。その価格は複数聴取したが、最も安かった林野庁調べ³²⁾の価格を採用した。

表4 NO₂、SO₂、O₂の1トン当たり代替価格

	代替価格	説明
NO ₂	12.44万円	排煙脱硝装置の減価償却・維持費
SO ₂	2.68万円	排煙脱硫装置の減価償却・維持費
O ₂	25.40万円	工業用価格

2.2.3 森林によるC固定量の代替価格

C固定量は、身近に意識できる太陽熱温水器の新規設置(耐用年数15年)や、電気自動車、ハイブリッド車への買い換えを想定した(表5)。

自動車については同型車との購入差額を耐用年数で除した。乗用車についてはトヨタプリウスを耐用年数7年で、貨物

表5 C削減代替品の効果と価格/年

代替品	C削減効果	代替価格/年
太陽熱温水器	87kg/世帯 ^{a)}	1.67万円
電気自動車(貨物)	60% ^{b)}	77.5万円
ハイブリッド車(乗用)	30% ^{b)}	7.1万円

a)伊藤(1998)千葉県環境研究所研究報告¹⁸⁾

b)平成9年版度環境白書¹⁹⁾

車については電気自動車とし、小型車はタウンエース、普通貨物はイズエルフで耐用年数10年を想定した。貨物車の代替額は現実の小型車と普通貨物車の保有台数(9:1)で加重平均した額(77.5万円/年)を用いた。

3 結果

3.1 日本の都道府県別、緑地種類別大気浄化量

日本の1995年の緑地種類別面積は表6に示したとおり、森林が2,515万haで、総面積の66.6%、耕地が412万haで14%、都市公園は約7.8万haで0.2%である。

都道府県別の緑地種類別面積に同面積あたり純生産量(表1)、地方較差補正係数(表3)を乗じた全緑地の純生産量(乾物重)は合計3億320万トン、総生産量は8億3,073万トンであった。緑地種類別の純生産量は、森林が2億5,927万トンで全緑地の85.5%、耕地が4,357万トンで14.4%、都市公園等は36万トンで0.15%であった。総生産量では森林が7億5,651万トンで91.1%を占めた。

表6 日本の緑地種類別大気浄化量(単位:万トン)

緑地種類	面積 (万ha)	大気浄化量			
		C固定	NO ₂	SO ₂	O ₂ 放出
全国 合計	3,777	7,778	30.7	22.1	35,935
耕地 計	412	0	2.7	1.9	5,164
田: 稲のみ	199	0	1.3	0.9	2,550
二毛作	10	0	0.1	0.1	220
畑田	22	0	0.2	0.1	308
休耕田	8	0	0.0	0.0	49
畑: 普通	93	0	0.6	0.4	1,234
牧草	41	0	0.2	0.1	388
無作付	8	0	0.0	0.0	49
樹園地	31	0	0.2	0.2	367
森林 計	2,515	7,778	27.9	20.2	30,728
針葉樹 人工	1,013	3,815	16.0	11.4	1,073
天然	238	659	3.0	2.0	2,603
広葉樹 落葉	995	2,148	5.2	3.6	8,487
常緑	136	871	3.0	2.8	3,440
竹林	15	46	0.1	0.1	184
無立木	121	238	0.6	0.4	942
都市公園	8	0	0.04	0.02	43
その他	843	-	*	*	-

* 緑地の少ない都市部では「その他」の吸収量は相対的には大きいですが、全国のデータが不揃いであるため示していない。

日本の緑地が吸収するCO₂量は年間4億9,410万トン(表6)で、うち、4億2,251万トンを森林が占めた。緑地種類別の吸収割合は純生産量と同じである。

全緑地のNO₂吸収量は30万7,000トンであり、そのうち森林が27万9,200トン、耕地が2万7,400トンであった。同様に全緑地のSO₂吸収量は、22万987トン、そのうち森林が20万2,230トン、耕地が1万8,553トンであった。

表7 全緑地の都道府県別大気浄化量(単位:万トン)

	緑地面積 (千ha)	CO ₂ 吸収量 (一次)	C固定量	NO ₂ 吸収量	SO ₂ 吸収量	O ₂ 放出量
全国	29,345	49,410	7,778	30.7	22.1	35,935
北海道	6,580	7,342	1,047	3.4	2.5	5,339
青森	764	1,158	174	0.6	0.4	842
岩手	1,309	1,938	315	1.0	0.8	1,410
宮城	548	841	114	0.4	0.3	612
秋田	979	1,493	230	0.5	0.5	1,086
山形	786	1,107	166	0.5	0.3	805
福島	1,118	1,616	253	0.8	0.5	1,175
茨城	348	617	65	0.4	0.2	449
栃木	479	808	109	0.6	0.4	587
群馬	489	816	128	0.7	0.3	594
埼玉	205	348	39	0.4	0.2	253
千葉	279	484	54	0.4	0.2	352
東京	95	177	29	0.3	0.1	129
神奈川	120	190	29	0.2	0.1	138
新潟	1,022	1,522	227	0.7	0.4	1,107
富山	345	511	75	0.2	0.1	371
石川	327	512	81	0.2	0.2	373
福井	353	584	94	0.3	0.2	425
山梨	372	561	96	0.4	0.3	408
長野	1,163	1,738	289	1.0	0.7	1,264
岐阜	922	1,693	295	1.5	1.0	1,231
静岡	564	1,136	189	1.1	0.6	826
愛知	296	584	85	0.6	0.3	425
三重	434	986	164	0.7	0.5	717
滋賀	258	471	70	0.4	0.2	343
京都	376	688	117	0.6	0.3	500
大阪	74	135	20	0.2	0.1	98
兵庫	640	1,200	197	1.3	0.6	873
奈良	304	595	103	0.5	0.3	432
和歌山	394	872	151	0.6	0.5	634
鳥取	291	555	91	0.3	0.3	403
島根	561	1,036	178	0.2	0.4	754
岡山	551	1,028	168	1.0	0.4	747
広島	674	1,232	210	1.0	0.8	896
山口	481	1,101	188	1.0	0.7	800
徳島	342	718	122	0.4	0.4	522
香川	122	218	30	0.2	0.1	159
愛媛	452	953	159	0.9	0.7	693
高知	619	1,433	255	1.1	0.8	1,042
福岡	309	750	108	0.7	0.4	546
佐賀	164	401	53	0.2	0.1	292
長崎	287	750	125	0.4	0.3	545
熊本	566	1,298	205	0.7	0.6	944
大分	508	1,116	189	0.7	0.5	812
宮崎	650	1,782	309	0.7	1.1	1,296
鹿児島	683	1,864	312	0.6	1.3	1,355
沖縄	140	452	72	0.1	0.1	329

日本の全緑地から放出されるO₂量は3億5,935万トンで、森林から3億728万トン、耕地からは5,164万トンが放出されている。人間の呼吸に必要なO₂量を年間300kg(エネルギー消費量を平均2,400Kcal/日とすると、消費O₂量は1日672g、年間約250kgだが、余裕をみて)とすると、日本の緑地は1年間に約12億人分のO₂をいったんは供給していることになる。

C固定量については、前述のとおり耕地の生産物は大半が当年中に消費されCO₂として放出されてしまうことからC固定能力を有するのは事実上森林だけと考えても大きな過誤はなく、その値は日本全体で7,778万トンであった。

表7に都道府県別の大気浄化量を示した。単位都道府県別の全緑地のC固定量は北海道が最も大きく1,047万トンで、次いで鹿児島県の312万トン、宮崎県の309万トン、岐阜県の295万トンであった。なお、文末の付表1に森林の都道府県別大気浄化量を示した。

3.2 NO_x、SO_x、CO₂排出量と緑地のNO₂、SO₂浄化量及びC固定量の比較

全国の固定発生源等からのNO_x、SO_x排出量²⁰⁾と植物による吸収量の関係を表8に、同様にCに関する収支を表9に示した。

植物は日本のNO_x排出量の21.5%を吸収しており、固定発生源からの排出量の35%、自動車からの排出量の56%に相当した。同様に固定発生源からのSO_x排出量の31.2%を吸収していることも推定された。NO_x、SO_xのいずれも、その90%以上は森林が吸収していることになる。

表8 発生源からのNO_x、SO_x排出量と緑地による吸収量(1995年度、単位:万トン/年)

	固定源 排出量	自動車 排出量	合計	植物の 吸収量	対固定吸 収割合
NO _x	87.8	55.0	142.8	30.7	35.0%
SO _x	70.8	-	-	22.1	31.2%

注)NO_x、SO_x排出量は環境白書(1999)²⁰⁾より。自動車からのNO_x排出量は55万トンで、それを加えたNO_x総排出量は142.8万トンとなり、植物はその21.5%を取り込んでいる。

表9 1995年度CO₂排出量と森林によるC固定量(単位C換算:万トン)

排出部門	排出量	同割合
エネルギー転換部門	2,257	6.8%
産業部門	13,380	40.3%
民生部門(家庭)	4,349	13.1%
民生部門(事業)	3,918	11.8%
運輸部門	6,773	20.4%
工業プロセス(石灰石消費)	1,660	5.0%
廃棄物	498	1.5%
その他	365	1.1%
合計	33,200	100%
植物のC固定量	7,778	
対排出量C固定割合	23.4%	

CO₂排出量は最終需要部門集計 環境白書(1998)²¹⁾より

一方、日本のCO₂排出量(1995年)はCO₂換算で12.2億トン、C換算では3.32億トン(表9)で、同年の世界のCO₂排出量(C換算)62億トンの5.4%を占めている。

この年の日本の緑地のCO₂吸収量は4億9,410万トンで、排出量に対し約40%を純生産量として一時的には取り込んでいる。ただし、そのうち、耕地などの吸収分は、その年のうちに人間の食糧になって呼吸の材料として消費されたり、畑で燃やされたりして空気中に還っていくので、それ以外の長期的なC固定量は森林による7,778万トンで、全排出量の23%である。この量は、全ての民生部門からのC排出量8,267万トンを僅かに下回る程度と推定された。

3.3 大気浄化量推定結果の考察・評価

3.3.1 CO₂吸収量、C固定量の評価

データの全国的に揃う森林、耕地、都市公園に区分し、原野や市街地など「その他」の純生産量をゼロとして集計した。

本研究で用いた単位面積当たりの純生産量値は、過去の調査事例を再評価した精度の高いものではあるが、調査事例そのものは少なくとも正常な樹木を対象としているため、近年、劣化ぎみの人工林約1,000万haの生産量としては過大評価となっていることは否めない。

表10 日本の森林のC固定量推定事例(単位:万トン)

推定者	年	純生産量C固定量	推定法
吉良 ⁹⁾	1977	41,180 (18,325)	純生産量より
松下技研	1979	94,500 (42,052)	エネルギー効率仮定 ³⁾
岩城 ⁹⁾	1981	38,964 (17,339)	純生産量より
三宅 ⁵⁾	1990	35,898 (15,944)	純生産量より ^{b)}
熊崎 ²²⁾	1990	3,000	幹材積より ^{c)}
山本 ²³⁾	1998	5千-1億	CO ₂ フラックス法
林野庁 ²⁴⁾	1998	2,700	幹材積 ^{c)}
小川 ²⁾	1999	25,927 8,640	純生産量より

備考: ()内は純生産量からの換算値(C=0.445 × Pn)で一次吸収量 a)は植物のエネルギー-利用効率1%としての理論的最大値 b)は全緑地の推定値 c)は森林の固定量から伐採量を差し引いた推定値

表10に日本の森林のC固定量の推計事例を示した。植物の純生産量を基に推計した岩城⁹⁾は森林の純一次吸収量を1億7,339万トン、吉良も日本全国の70%が森林に覆われていると仮定して森林の純一次吸収量を1億8,325万トンと結論している。同様に、三宅⁵⁾は農耕地など全緑地を含むC吸収量を1億5,944万トンと推計し、日本の排出量の46.5%に相当すると報告している。

しかし、これらの推計はいずれも植物の生産量を明らかにするためのもので、落葉落枝などによる土壌呼吸を含む森林生態系全体としてのC収支解明を目的としたものではない。したがって、地球温暖化対策として必要な森林生態系のC固定量としては必然的に過大となっている。

一方、林野庁が幹材積をもとに試算した森林のCO₂吸収量は2,700万トン/年である(林業白書平成9年度版²⁴⁾の「我が国の森林の二酸化炭素の吸収」(p.144))。この計算方法は平成10年度の同白書(p.156)²⁵⁾によれば、「森林による二酸化炭素の吸収量は、この蓄積された炭素から動物によって食べられた葉や幹の量、落葉などの枯死量、丸太などの収穫物として森林から外へ持ち出される量を差し引いたものが正味の量」とされている。

しかし、幹材積を算定基準とした森林生長量は、根や枝分は係数を乗じて上乘せしているものの、意外に大きい森林内の低木などの生産量が含まれていない⁹⁾ので、やはり樹木を中心とした生態系全体の炭素収支としては過小評価されているものと考えられる。

また、伐採丸太量全量を除いているのもかなりの過小評価につながっている。林業要覧²⁶⁾によれば1995年の国内の丸太伐採量は2,156.4万m³で、うち、その年にCO₂を放出する可能性が高いパルプ、チップ用は553.4万m³である。間伐材は453万m³²⁸⁾で、そのうち100万m³がその年にCO₂に帰ったとしても合計650万m³で、丸太伐採量の約30%にすぎない。その場合も、伐採木が成熟林で、且つ伐採跡地の30%に植林されていれば差し引き、伐採による放出はさらに小さくなるし、やがては吸収側に变化する。成熟林よりは、生長過程の樹木のC固定量のほうが大きいことはよく知られた事実であり、日本全体としてはC固定量は増加することになる。したがって、幹材積生長から伐採量全てを除くことは森林のC固定量を著しく過小評価していることになる。

現実には日本の建築物中に貯蔵されている炭素量は年々増加しており、1996年1年間で460万トン増であったことが報告²⁷⁾されている。国産林を建築物として利用することはC収支の面からは、都市の中に森を作っているのと同義である。

なお、本研究は緑地の大気浄化機能としてC固定量を推定したものであり、伐採分は除外していないが、林野庁の推定に合わせて森林伐採による炭素排出量(約1,300万トン)全量を差し引いた場合、6,478万トンとなる。

山本晋らの「森林生態系の二酸化炭素吸収・交換量についての一考察」(1998)²³⁾によれば、岐阜県高山市の安定期に近づきつつある冷温帯落葉広葉樹林(海拔1,400m、平均樹高は17m、最大30m カンバ、ミズナラ、カエデ類)で生態系全体の炭素収支の結果であるCO₂フラックスを直接測定した結果、森林植物体生長量5.1トンC/ha/年を得た。しかし、年変動も大きかったことから、日本の全森林の炭素固定量の推計には、やや大きめの評価としながら2~4トンC/ha/年を用い、日本の森林面積24.7Mhaを乗じて、5,000万トンから1億トンであるとし、日本の化石燃料からのC放出量0.32Gトンの15%~30%程度と報告している。

また、最近報告された「自然生態系の二酸化炭素変動機構のモデル化と予測 冷温帯生態系におけるモデル化と予

測」(研究代表:袴田共之、1999)²³⁾によれば、岐阜県高山市乗鞍岳南西斜面の標高1,420mのササを林床植生にもつ落葉広葉樹林(ダケカンバ、ミズナラの二次林)で実測調査した結果、冷涼多雨の気候帯に属する同群落の林床、土壌を含めた森林生態系のC固定量は3年間の平均で2.19トンC/ha/年と結論している。C収支の内訳は樹木層のC固定量が4.05トン、林床ササ群落が1.18トン、土壌呼吸が-3.04トンである。本研究では東北地方の落葉樹がこれに相当するが、そのC固定量は2.16トン/ha/年であり、袴田のC固定量推定値と、ほとんど一致している。

さらに、電力中央研究所が1992年の報告書「植物による炭素固定に関する文献調査 - 森林樹木・海産植物・微生物の炭素固定量」(U91054)²⁹⁾で、国内外190の文献、700の事例を基に整理した純生産量は、熱帯産の早生樹種の大きい値を除き、3トンC/ha/年~10トンC/ha/年であった。これから落葉落枝分(23.5%)を除いた炭素固定量は2トンC/ha/年~6.7トンC/ha/年であり、本研究で用いた炭素固定量の値は沖縄の常緑広葉樹以外は全て、この範囲に含まれていた。

以上により、本研究により推定された森林のC固定量7,778万トン/年は、前述のとおりやや上限値に近いとは考えられるが、許容範囲にあり、持続的林業の目標値になるものと考えられる。

3.3.2 NO₂、SO₂吸収量の評価

全国規模でNO₂、SO₂吸収量を推定した事例は、三宅⁸⁾、農業総合研究所¹⁹⁾及び小川²⁾の報告しか見られない。NO₂、SO₂吸収量の推定は三宅の提起した方法以外には行われていないため、結果の相違は総生産量と汚染物質濃度の設定に起因する。

三宅のモデルは便宜的にSO₂濃度を10ppb、NO₂濃度を26ppbと仮定したものであるため、現在のようにSO₂濃度が大幅に低下してくればそれに比例して吸収量も減少することになる。

農業総合研究所で報告¹⁹⁾している全国農耕地のNO₂、SO₂吸収量は、大気浄化機能の貨幣換算だけが目的のため、この汚染物質の濃度を考慮せずに、三宅が算出した1980年当時の全国平均値をそのまま用いており、両物質とも、総生産量に乗じる数値としてはかなりの過大評価になっている。農業総合研究所で用いられた単位面積当たりの吸収量はNO₂が水田13.64kg/ha/年、畑15.16kg/ha/年、SO₂が水田9.72kg/ha/年、畑10.80kg/ha/年である。現実の1990年以降のSO₂濃度は全国平均では約5ppb、NO₂濃度は14.5ppbであり、しかも森林地域は、さらに低い(SO₂は3ppb~4ppb)。

本研究では各都道府県毎に1995年の全測定局の平均値(表3)を用いたので単位面積当たりのNO₂吸収量は6.64kg/ha/年、SO₂は4.50kg/ha/年であった。ただし、森林の分布する地域は常時監視局は少なく一層低濃度なので、その分は

過大評価しているものと考えられる。

3.3.3 O₂放出量の評価

全国規模でO₂放出量を推定したものとしては林野庁の報告⁴¹⁾がある。森林のO₂放出量を7,265万トンとしており、この値は同じく林野庁が報告しているC固定量2,700万トン/年から換算して得られる値とほとんど一致している。しかし、O₂は光合成の過程で放出されるので、その量はCO₂吸収量をもとに換算する必要がある。また、前述のように、C固定量2,700万トンは下ばえなどの固定量が含まれないのでO₂放出量としても過小評価となる。本研究の森林からのO₂放出量は約3億トンであり、かなりの開きがあるが、いずれにしてもO₂放出量の推定値の大きな相違の原因はCO₂吸収量の評価に準じるものである。

3.4 大気浄化機能の経済的評価

3.4.1 大気浄化機能の評価事例

これまで、大気浄化機能の経済的評価事例は、1972年に林野庁が代替法で森林の酸素放出量を貨幣換算して以来、9例を見いだせたが、そのうち4例は「酸素の供給」のみの評価であり、2例がNO₂、SO₂浄化のみの評価である。しかし、地球温暖化対策を考慮した炭素固定の評価は、2例^{2,31)}しか見られなかった。

NO₂、SO₂吸収量についての経済的評価の事例は、これまでに兵庫県(三菱総研)¹⁶⁾と農業総合研究所¹⁷⁾小川²⁾の3例が見られた。兵庫県の報告書は樹木が吸収したNO₂、SO₂を活性炭に吸着させた場合の金額に代替しており、その活性炭価格は48.5万円/トンで、その重量の10%を吸着すると仮定して貨幣換算している。ただし、これは排煙脱硫装置等の普及の現実とはあわない。

一方、農業総合研究¹⁷⁾では排煙脱硫、排煙脱硝の装置の減価償却及び維持費で代替しており、その価格は通産省の資料(1998)を基に、脱硫が2.68万円/トン、脱硝が12.44万円/トンと設定しており、兵庫県方式よりはるかに安価である。

O₂放出量の評価についてはいずれもO₂販売価格で行っており、林野庁の試算³²⁾では工業用O₂ガスの単価25.4万円/トンが用いられている。

C固定量については最近まで低公害車への切り替え等で評価した小川²⁾の方法以外なかったが、2000年9月に林野庁が発電所からのCO₂回収コストで代替した結果を公表³¹⁾している。

3.4.2 大気浄化機能の経済的評価結果

1)C固定量の代替手順と評価額

CO₂削減対策は省エネルギーやエネルギー利用効率の改善、資源リサイクル、低炭素燃料への転換、再生可能エネルギーの利用、交通運輸効率の改善、さらには排出されるCO₂の分離回収等が考えられるが、実際のCO₂削減対策はこ

れらを組み合わせたものとなると考えられる。なお、排煙からのCO₂の分離回収は技術的には十分に可能であるが、回収物の処分に全く目途がたっていない(100万kw級の石炭火力発電1機の排煙からCO₂を90%回収すると、1日1万8,000トンの廃棄物が生じる。海洋処分も禁止されている)。

本報告では計算上の目安として解りやすい太陽熱温水器の新規設置³⁰⁾や、電気自動車等への買い換えを想定した(表5)。もっとも、植物によるC固定量(7,778万トン)は既に運輸部門(6,773万トン)や民生部門(家庭、4,349万トン)の総排出量を上回っており、代替えしきれないが、外挿値を目安として示した。

C固定の代替にあたっては、平成9年版環境白書²⁰⁾及び全国自動車排ガス測定局測定結果報告書⁴³⁾記載のデータをもとに、日本の自動車から排出される1台当たりの年間排出量を算出して用いた(表11)。代替は次のとおり想定した(表12)。

乗用車、貨物車を低公害車に切り替える。

全世帯(4,615万世帯)に太陽熱温水器を導入する。但し、1995年の総務庁調査で13.8%の世帯で温水器をすでに保有しているので、新規導入世帯を3,980万世帯とする。

全車、全世帯を温水器、低公害車に切り替える。

植物固定量100%になるよう から外挿する。

表11 日本の自動車からの年間C排出量(1995年)

車種	排出量 (万トン)	割合	保有台数 (万台)	1年間1台当たり(トン)	
				排出量	代替削減量
乗用車	3,000	51%	4,507	0.666	0.200
貨物車	2,777	47%	2,011	1.381	0.828
バス	129	2%	24	5.375	-
合計	5,906	100%	6,542		

備考)環境白書(9年版)、自動車排ガス測定局測定結果報告書(1996)をもとに作表。

結果は表12に示したとおりで、全車を低公害車に代替すると、18.8兆円()必要となるが、森林の炭素固定量の33%しか削減できない。太陽熱温水器を未導入の全世帯に新規に設置する場合は6647億円()となるが、C削減量は346.3万トンで森林の固定量の僅か4.4%にすぎない。両者合わせても

表12 森林炭素固定量の代替費(低公害車、太陽熱温水器)

	削減量 /年/台	台数 万台	削減量 万トンC	代替費 万円/台	代替費 億円	対植物 固定率
乗用車	200kgC	4,507	901	7.1	32,000	
貨物車	828kgC	2,011	1,665	77.5	155,852	
計	-	-	2,566	-	187,852	33.0%
温水器	87kgC	3,980	346	1.67	6,647	4.4%
合計	-	-	2,912	-	194,499	37.4%
総額	-	-	7,778	-	520,050	100%

は乗用車、貨物車の計、はそれに の温水器を加えた合計は植物の固定量7,778万トンを代替するための外挿値である。

C削減量は2,912万トンで植物固定量の37.4%、代替費は19兆4,500億円()であった。この結果をもとに外挿して植物による固定量全量の代替費用を算出すると52兆円()となった。参考までに林野庁の炭素固定量推定値2,700万トンは、上記の方法で、自動車全車の低公害化(2,566.5万トン)と、その残り133.5万トンを温水器に代替すると、1,534万世帯に温水器を導入すれば良く(2,563億円)、合計約19兆円という結果であった。

2)緑地の大気浄化機能評価額

表13に日本における緑地の大気浄化機能の経済的評価額をまとめて示した。

NO_x浄化は382億円、SO_x浄化は59億円、O₂放出は91.27兆円であり、これにC固定の52.01兆円を加えると総額143.3兆円という巨額となったが、その90%は森林によるものであった。O₂およびCO₂評価額が高いが、文字通り代替法の結果である。金額はともかく、緑地が極めて高い環境保全機能を有していることは明かである。

なお、2000年9月の林野庁資料³¹⁾によれば、森林の公益的価値は水資源涵養機能、土砂流出防止機能、土砂崩壊防止機能、保健休養機能および野生鳥獣保護機能を合わせて69.9兆円とし、さらに大気浄化機能5兆1,400億円を上乗せしている。そのうち、C固定量については排煙からの除去費用としてC1トンあたり46,900円、合計1兆2,400億円と評価している。実現可能性からは、同時に示されているLNG転換の方が大量の廃棄物が生じないので優れているが、そのコストは79500円/トンCで、外挿すると6兆1800億円である。

表13 全国緑地の大気浄化機能評価額 (単位:億円)

	NO _x 吸収	SO _x 吸収	C固定	O ₂ 放出	合計
森林	347.4	54.2	520050	780492	1300944
耕地・公園	34.5	5.0	-	132246	132285
緑地 合計	381.9	59.2	520050	912738	1433229

3.4.3 予想される炭素の排出権取引、EUの環境税及び石油関連税で代替した炭素の固定価値

地球温暖化対策として、COP3では2008年から2012年までにCO₂排出量を5%削減することが決定され、その方途の一つとして排出権取引の導入が認められた。現在既に、予行演習としての取引が始まっており、その価格はC1トンあたり数ドル程度である。しかし、大手金融機関やコンサルタントを中心に2008年にむけて炭素価格の予想シミュレーション³³⁾が繰り返されている。炭素排出削減の困難さや、取引に加わる国の範囲など、多くの仮定条件があるものの、概ね炭素1トン当たり40ドルから251ドルまでが予想されている(表14)。

なお、電力中央研究所の想定³⁴⁾の一つである2000年での削減率43%(表14)は、最も求められているケースの予測ではあるが、現実的には排出権取引だけによる削減は全く不可能であり、それを除外すると、予想される取引価格は40ドル

表14 排出権取引における炭素価格予測例(単位:米ドル)

モデル例	価格	設定条件
(米国政府) ・DRIモデル ・MARCAL-MACRO ・SGM	95/トン 145/トン 81/トン	米国が2010年排出量を1990年レベルより10%削減し、国内取引する場合。
(電力中央研究所) ・Edmonds-Reilly (線形計画モデル)	102/トン	世界が2000年排出量を1990年レベルより13%削減し、世界で取引する場合。
・電力中央研究所	54/トン 132/トン 251/トン	2000年の削減率15% 29% 43%
・WorldScan	100/トン 40/トン	2010年国内取引。 2010年締約国間取引で半分は国内対策。

三菱総研(内部検討資料1999)、電力中央研究所報告書ホームページより作表。SGMモデルはエネルギー経済モデルとして長期分析に、DRIモデルは短期的経済予測に適す。MARCAL-MACROモデルは定量的な最適解を得るのに適し、長期的分析に向く。

から145ドル程度と考えられる。

一昨年、日本興業銀行は2008年以降の排出権取引の市場規模は世界で年間23兆円(数値自身は思惑も含んでいると考えられ、これより大きくなるか、少なくなるかは不明)に達するという予測を公表³⁵⁾している。

ここでは、排出権取引価格を40ドル、80ドル、130ドルに想定するとともに、今後、日本でも導入が検討されている環境税の参考値として、EUの炭素税³⁶⁾や、環境税の裏返しともいえる日本の石油関連税で森林の炭素固定量を評価し、その経済的価値を算出した(表15)。

表15 排出権取引、炭素税等で代替した森林のC固定価値

	C1トン当りの単価	C固定価値(億円)	
		7,778万トン	2,700万トン*
EU炭素税	8,770円	6,821	2,368
日本 軽油税	33,694円	2兆6,207	9,097
ガソリン税	83,635円	6兆5,051	2兆2,581
排出権取引高	14,300円	1兆1,123	3,861
中	8,800円	6,845	2,376
低	4,400円	3,422	1,188

1ドル = 110円とする。排出権取引の単価は高予測130ドル、中予測80ドル、低予測40ドルとする。 * 林野庁予測値

排出権取引による代替額は、年間3,422億円から1兆1,123億円、中庸な額は6,845億円であった。

EUの炭素税では6,821億円、日本の軽油税、ガソリン税で代替するとそれぞれ2兆6,207億円、6兆5,051億円となった。

いずれを選択するかは政策判断の問題であるが、中位予想の排出権取引額(単価8,800円)とEUの予定されている炭素税(単価8770円)から計算した森林の炭素固定価値は約6,

800億円である。森林の炭素固定能力だけで、現在の林野庁の年間予算である約5,000億円を超える額となっていることは注目に値する。排出権取引額は現実的な「市場価値」となる可能性があるし、EUの炭素税にしても圏内諸国のうち、デンマーク、ノルウェー、スウェーデンの炭素税は既に設定額を超えている。

炭素税は炭素の価値そのものではなく、その価値の範囲で炭素の削減を誘導するための額であり、そのように考えると、少なくとも森林のもつ炭素固定機能は年間6,800億円を大きく上回る価値を有しているものと考えられる。

2000年5月に環境庁は、「環境政策における経済的手法活用検討会」の報告書³⁷⁾を発表し、CO₂削減に必要な税額とその有効性について指摘している。炭素税だけで2010年時点で1990年比2%減を達成するためには、炭素1トン当たり3万円から4万円、即ち軽油税並の環境税が有効で、GDPに及ぼす影響は比較的小さいと報告している。

4 森林の公益的価値に見合う森林保全費用の投入

4.1 森林による大気浄化機能の公益的価値

日本の森林・林業の衰退は山村を崩壊させ、同時に森林の持つ多面的な環境保全機能を低下させて地域環境への影響を顕在化させつつある。また、地球温暖化問題が世界的な緊急課題となり、森林の炭素固定機能の解明も重要課題となってきた。

本報告では、こうした時代的要請にこたえて、日本の森林・林業の持つ大気浄化機能を定量的に推定するとともに、その経済的評価を行った。これまで行われていた代替品による換算の他に、石油関連税や炭素税、炭素の排出権取引価格でも換算した。

その結果、日本の緑地はCO₂を年間4億9,410万トン(森林は4億2,251万トン)、O₂を3億5,935万トン(森林は3億728万トン)、NO₂を30万7,000トン(森林は27万9,200トン)、SO₂を22万987トン(森林は20万2,230トン)吸収していることが推定された。また、地球温暖化対策として問題となる日本の森林生態系としてのC固定量は年間7,778万トンと推定された。

次に、こうした森林等の大気浄化機能の経済的価値を代替法によって推定した。CO₂を身近な太陽熱温水器の新規設置や、電気自動車等に買い換えた場合の同型車購入費との差額で、O₂を林野庁の用いた工業用O₂購入額で、さらにNO₂、SO₂を通産省調べの排煙脱硫、排煙脱硝装置の減価償却及び維持費を用いて代替して貨幣換算した結果、全緑地で約143兆円、森林だけでも約130兆円(C固定52兆円、O₂放出78兆円、NO₂、SO₂吸収400億円)に達することが推定された。

一方、世界的にクローズアップされてきた環境対策としての炭素税(EU:8,770円/トンC)や、炭素の排出権取引の中位

予想単価(8,800円/トンC)による森林の炭素固定価値は、いずれも約6,800億円となった。この金額は前者は環境対策として炭素排出量の削減を誘導するための税額であり、後者は炭素の排出枠を購入する国際的市場価格である。したがって、少なくとも6,800億円を森林の炭素固定の対価として評価でき、同額を新たに「森林保全費用」として投入することは十分な妥当性を持つと考えられる。

4.2 森林・林業の現状と投入すべき森林保全費用

林業統計要覧(1998)³⁸⁾によれば、日本の林野面積2,500万haのうち、人工林が約1,000万haである。1996年度生産林業所得は5,510.6億円で、このうち木材生産では3,920億円である。林家数は1990年で2,508,000戸、林業経営体が354,000であるが、林業就業人口は80,000人にまで減少している。また、全林家数のうち、過去5年間に山林作業に従事した林家数は28,920戸、過去5年間に林業に従事した者がいる林家数は僅か29,140戸にすぎない。このように既に林業は壊滅状態であり、大気浄化機能の劣化ばかりでなく、周辺環境への影響が懸念される水源涵養や土砂崩壊防止機能などが失われるのも時間の問題である。このような事態を防止するためには、直ちに森林を保全していく必要があり、そのための費用投下は国の責務であろう。

本報告では森林の大気浄化機能は、代替法によると炭素固定価値52兆円、O₂放出やNO_x、SO₂吸収を含めると130兆円と推定された。また、排出権取引で予想される炭素価格としては中位予測で6,800億円程度の市場価値を有することも推定された。したがって、少なくとも、この6,800億円程度の額を森林保全費として新たに投入することは十分に妥当性がある。

農林総合研究所の吉田³⁹⁾はCVM法による試算を行い、国民は森林の国土保全、水源涵養等機能などが損なわれないように税金や寄付で賄うとすると、1世帯あたり70,371円、合計3兆2,481億円の支払い意志があることを報告している。

また、1999年10月の総理府アンケート⁴⁰⁾では、国民は「経済効率に合わなくても」森林保全を公共事業として実施することを支持(75.3%)している。したがって、森林のもつ巨大な環境保全機能を考えれば、森林保全のための国費投入額は、市場と国民の支払い意志から、少なくとも6,800億円から3兆2,481億円の範囲に設定することができよう。

笠原⁴¹⁾は、国有林を持続的経営に再建するためには事業費4,500億円が必要であるとしている。1999年度の林野予算は5,018億円で、うち、国有林予算は2,444億円である。したがって、笠原の提案を生かせば新たに約2,000億円を投入すれば国有林の持続的経営ができることになる。

炭素の市場価値、あるいはEUの炭素税相当額に相当する6,800億円のうち、2,000億円を新たに国有林事業につぎ込むことは極めて現実的であろう。国有林の面積は全森林の約30%であり、その割合を6,800億円から比例配分すれば

2,040億円に相当するからである。残りの4,760億円を民有林支援としての直接支払、あるいは何らかの助成金として投入することができる。

森林は、成熟して老齢化すると物質生産と呼吸による消費等がつり合って、みかけ上CO₂収支はゼロとなる。したがって森林の炭素固定効果を活用しようとするれば、保存すべき森林を除き、成熟・老齢期の樹木を適切に伐採して再植林し、純生産量を高めることは重要である。伐採木は森林系外で可能な限り長期間再利用する。適切な木材利用は、炭素収支の観点からは都市の中に新しい森林を作ることと同じである。即ち、単に環境対策としてだけ森林保全費を投入するのではなく、持続的林業を進展させるために用いてこそ、環境対策としての効果も一層発揮されるということである。

森林・林業の使命は、林政審議会の報告「林政の基本方向と国有林の抜本的改革の方向」⁴²⁾が示した「木材生産から撤退」して「公益的機能の重視」へと転換することではなく、木材生産を重視する持続的林業として発展させることである。

5 おわりに

本報告では、日本の森林等が持つ大気浄化機能とその経済的価値について推定、評価した。大気浄化機能の推定は植物種別面積のデータベースを構築し、既存の純生産量資料を再評価することで行ったが、今後、森林生態系の炭素フラックスデータが集積されれば、直ちにその精度を向上させることができる。

また、森林による大気浄化機能の経済的価値は、代替法では約130兆円に達したが、それは、あくまで前提とした代替手段と一対で考えられるべきである。より現実的には環境庁も導入を検討している環境(炭素)税や炭素の排出権取引額での評価結果であろう。森林には、少なくとも炭素固定だけで約6,800億円の価値があると評価されたが、劣化しつつある森林を保全するための新税創設には抵抗がある。しかし、環境保全のための一石二鳥の方法として、50年間臨時措置法のまま据え置かれてきた、年間5~6兆円にのぼる道路目的税(石油関連税制。道路予算総額は年間約13兆円)の一般税化や、その一部である軽油引き取り税等の炭素税化等が考えられる。炭素税は、EU諸国では既に導入済みであり、日本でも環境対策を進める上では、避けて通れない課題である。

[参考] IPCC報告書による地球の炭素収支について

1990年のIPCC報告では、下表のように森林は全体としては吸収源として評価されなかったが、2000年の報告^{44, 45)}ではミッシング・シンクの大部分を陸上生態系が取り込んでいると推定されるようになった。即ち、森林を中心とする陸域生態系は、主として北半球温帯林などの諸条件変化による吸収増 2.3 ± 1.3 GトンCにより、熱帯林破壊に伴って放出される炭素 1.6 ± 0.8 GトンCを差し引いても正味 0.7 GトンCのシンクであると推定されるようになった。

なお、IPCCは未調査の森林の炭素固定能力を熱帯林を除き $1 \sim 4.5$ TONC/haとしているが、大半の地域は $1 \sim 3$ TONC/haを当てはめている。例えば世界の温帯林面積約12億haの炭素固定能力の想定を面積当たり平均1トン高めると、ミッシング・シンク、あるいは、「陸上の吸収増」の説明がつく。

表 地球の炭素収支 (単位: GトンC)

	1990年報告	2000年報告
発生源: 化石燃料	5.4 ± 0.5	6.3 ± 0.6
熱帯林破壊	1.6 ± 1.0	1.6 ± 0.8
吸収源: 海洋の吸収	2.0 ± 0.8	2.3 ± 0.8
(分布) 大気への滞留	3.4 ± 0.2	3.3 ± 0.2
ミッシング・シンク ^{a)}	1.6 ± 1.4	
陸上の吸収増 ^{b)}		2.3 ± 1.3

a) 行方不明 b) CO₂上昇、栄養塩類増加、森林の再生、土壌への蓄積などで陸上生態系にCが取り込まれていると推定。

文 献

- 1) 世界資源研究所(1994)世界の資源と環境1994-95, 環境情報普及センター, 中央法規, 321
- 2) 小川進(2000)森林などの持つ大気浄化機能の経済的価値と森林保全費用に関する研究, 宇都宮大学農学研究科修士論文.
- 3) 農林水産省(1996)1995年世界農林業センサス、農家調査報告書 - 総括編 - .
- 4) 農林水産省(1991)林業センサス、累年統計書 .
- 5) 三宅博(1990)植物の生産力に基づく緑地の大気浄化機能の評価, 文部省「人間環境系」研究報告書, 都市圏の生産緑地のもつ環境改善機能評価方法に関する研究 .
- 6) 建設省(1997)都市公園現況1995年版 .
- 7) KIRA(1969)Structure of forest canopies as related to their primary productivity. Plant & Cell Physiol., 10, 126-142 .
- 8) 依田恭二(1971)森林の生態学, 生態学研究シリーズ4, 築地書館 .
- 9) 岩城英夫(1981)我が国におけるファイトマス資源の地域的分布について, 環境情報科学Vol.10, 54-61 .
- 10) 環境庁(1993)樹木による大気浄化効果の定量的評価手法の検討 .
- 11) 村田吉男、玖村敦彦、石井龍一(1976)作物の光合成と生態, 農文協 .
- 12) 袴田共之、波多野隆介、木村真人、坂本一憲(2000)地球温暖化

ガスの土壌生態系との関わり 1. 二酸化炭素と陸域生態系. 日本土壌肥科学会誌. 71(2). 263-274

- 13) 小泉博(1999)人為的生態系の二酸化炭素変動機構のモデル化と予測 農耕地における炭素のシークエストレーションの評価, 代表: 袴田共之, 陸域生態系の二酸化炭素導体の評価と予測・モデリングに関する研究H8~H10, 環境庁地球環境研究総合推進費終了研究報告書 .
- 14) 戸塚績、三宅博(1991)緑地の大気浄化機能, 大気汚染学会誌, 26(4). A71-A80
- 15) 環境庁大気保全局(1996)平成7年度一般環境大気測定局測定結果報告書 .
- 16) 三菱総合研究所(1995)平成6年度兵庫県農林水産部委託調査, 新たな公益的機能の客観的評価手法開発調査報告書 .
- 17) 農業総合研究所(1998)農業・農村の公益的機能の評価検討チーム, 代替法による農業・農村の公益的機能, 農業総合研究, Vol.52, NO.4 .
- 18) 伊藤彰夫ら(1998)太陽熱温水器による二酸化炭素排出抑制効果の推定, 千葉県環境科学研究所研究報告, Vol.30 .
- 19) 環境庁(1997)環境白書平成9年版 .
- 20) 環境庁(1999)環境白書平成11年版 .
- 21) 環境庁(1998)環境白書平成10年版 .
- 22) 熊崎実(1990)炭素の放出源から吸収源へ, 環境研究, NO.77
- 23) 山本晋(1998)森林生態系の二酸化炭素吸収・交換量についての一考察, 資源と環境, VOL.7 NO.2. 33-41
- 24) 林野庁(1998)林業白書平成9年度版
- 25) 林野庁(1999)林業白書平成10年度版
- 26) 林業統計要覧(1997)林業調査会 .
- 27) 天野正博(1998)温室効果ガスの人為的な排出源・吸収源に関する研究(平成10年度), 代表: 西岡秀三, 森林セクターの炭素固定機能評価モデルの開発, 環境庁地球環境研究総合推進費終了研究報告書 .
- 28) 袴田共之(1999)自然生態系の二酸化炭素変動機構のモデル化と予測, 代表: 袴田共之, 冷温帯生態系におけるモデル化と予測, 環境庁地球環境研究総合推進費終了研究報告書 .
- 29) 電力中央研究所(1992)植物による炭素固定に関する文献調査 - 森林樹木・海産植物・微生物の炭素固定量(U91054) .
- 30) 鷲田豊明(1999)自然環境の経済評価と保全, 吉野川環境評価を事例として, 環境研究, NO.4. 45-54
- 31) 林野庁ホームページ(プレスリリース)より
- 32) 林野庁(1992)林業白書平成4年度版 .
- 33) 三菱総合研究所(1999)内部資料 .
- 34) 電力中央研究所ホームページより .
- 35) 毎日新聞, 1999年9月22日より .
- 36) 石弘光著(1999)環境税とはなにか, 岩波書店 .
- 37) 環境庁(2000)環境政策における経済的手法活用検討会報告書 .
- 38) 林業統計要覧(1998)林業調査会 .
- 39) 吉田謙太郎(1999)CVMによる中山間地域・農村の公益的機能, 農業総合研究, Vol.53 NO.1 .

- 40)総理府広報室(1999)森林と生活に関する世論調査，総理府ホームページより.
- 41)笠原義人(1997)林政審議会答申の問題点と国有林再建の方向，林研，NO.209 .
- 42)林政審議会(1997)林政の基本方向と国有林野事業の抜本的改革，林野庁ホームページより.
- 43)環境庁大気保全局(1997)平成8年度自動車排出ガス測定局測定結果報告書 .
- 44)IPCC(2000)土地利用・土地利用変化及び林業(LULUCF)に関するIPCC特別報告，IPCCホームページより
- 45)山形与志樹、山田和人(2000)京都議定書における吸収源プロジェクトに関する国際的動向，国立環境研究所地球環境研究センター