京都議定書での吸収源の取り扱いと森林・湿地保全活動

国立環境研究所
山形　与志樹

1．はじめに

COP6再開会合（2001年７月；ドイツ・ボン）では、多大な危機感を募らせていたEU側からの大幅な譲歩があり、アメリカの離脱という大きな制約はあるものの、京都議定書の実施ルールに関する「包括的合意」という名の部分合意（以下、ボン合意）が採択された。さらにCOP7において批准のために必要となる運用細則の詰めの交渉がなされ[1]、現在各国が2002年の発効に向けて批准のための準備をすめているところである。

COP3からCOP6にいたる交渉のプロセスの中で、特に大きな課題として継続的に議論されたのが、森林・農業の吸収源活動の取り扱いである。「植林」や「森林管理」等の人為的な吸収源を拡大する活動が、数値目標達成のために利用できることが京都議定書で認められたものの、従来から不確実性が高いとされてきた吸収源に関する取り扱いをどうするのか、米国等に大幅な吸収源を認めてエネルギー部門の排出削減努力を緩和することを許すか否か、科学アセスメントと政治交渉が平行して進められてきた。

森林や湿地の保全については残念ながら今回の合意については取り入れられなかった。しかし温暖化の影響の点から、また温暖化を防止する観点から森林や湿地の保全が果たす役割は大きい。本論文では、京都議定書における合意の概説に加えて、湿地生態系が地球温暖化の影響をどのようにして受けるかについての研究結果を報告する。

2．ボン合意の主要内容

COP6（2000年ハーグ）は吸収源の取り扱いを巡る交渉が主な原因となって決裂したが、COP6再開会合（2001年ボン）前に先駆けて発表されたプロンク議長包括提案に基づいてさまざまな変更画加えられ、最終的に以下のようなボン合意が成立した。

2.1.　森林および３条３項・４項の吸収源活動の定義

2.1.1.　森林の定義

森林の定義はFAO方式に基づく新たな方式が採用された。

> *面積が0.05～1.0ヘクタール以上、かつ樹冠率がその10～30%以上を占める土地領域を言う。その樹木は成熟した場合、２～５m以上の高さに成長するものだけとする。疎林でも閉鎖林でもよい。未成長の森林やプランテーションも成熟林にした時点で上記の条件を満たせば京都議定書下の「森林」として取り扱う。*

ただし、定義中、幅のある数字については各国が特殊な事情を判断して選択してよいことになっている。ただし、一度選択した定義を後で変えることはできない。

[1] 吸収源についてはロシアの３条４項森林吸収量の上限値が33MTへの増加がなされた。

2.1.2. 3条3項の定義

京都議定書3条3項は、植林、再植林、森林減少も含めた温室効果ガスの排出量で数値目標達成を判定することを規定している（いわゆる3条3項吸収源）。今まで、これら活動の定義は規定されていなかったが、COP6再開会合ではある程度まで、諸定義に関する合意が得られた。それをまとめたものが表2である。

表 2 3条3項吸収源の定義一覧

活動名	定義	イメージ
植林（新規）	少なくとも50年間は森林状態になかった土地を、直接人為的に森林に転換する活動。	
再植林	一旦は森林地帯であった土地を再度直接人為的に森林に転換する活動。第一約束期間に関しては、1989年12月31日の時点で森林状態でなかったことが条件となる。	
森林減少	森林を非森林に転換する直接人為的活動。	

注）図は山形・山田（2000）から抜粋した。

3条4項吸収源の定義は、まだ曖昧である。これは、IPCC が各活動による吸収量のグッドプラクティス・ガイドラインを策定する中で具体化されていくだろう。なお、植生回復は、森林の定義に当てはまらない都市緑化の植生などによる吸収源を対象とするものである。

2.1.3. 3条4項の定義

3条4項については交渉が最も難航したが、最終的に合意された結果を表3にまとめた。

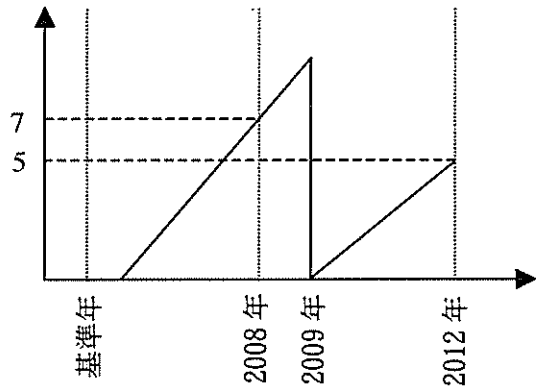
表 3 3条4項吸収源の定義

活動名	定義
植生回復 (revegetation)	0.05ヘクタール以上の植生回復を行うことによって炭素蓄積量を増加させる直接人為的な活動。ただし、当該活動は1990年1月1日以降に開始され、上記の植林、再植林の定義に当てはまらないもののみに限定される。
森林管理 (forest management)	環境（生物多様性を含む）、経済、社会的機能を発揮させることができるように森林を持続的に管理する取り組み。当該活動は1990年1月1日以降に開始されたものに限定される。
農地管理 (cropland management)	農作物耕地や農作物の休耕地を管理する取り組み。ただし、1990年1月1日以降に開始されたものに限定される。
牧草地管理 (grazing land management)	植物や家畜生産の量と種類を管理する取り組み。ただし、1990年1月1日以降に開始されたものに限定される。

出典：UNFCCC (2001), p.6.

2.1.4. ３条３項、４項の吸収量の算定方法について、最終的に合意された結果を表４にまとめた。

表 4　各種吸収源活動（３条３項・４項吸収源）の算入方法

	算入模式図 （x 軸は年、y 軸は炭素蓄積量 [t-C/ha]）	説明
3条3項活動および 3条4項森林管理		■ 第一約束期間中の炭素蓄積量変化 左例の場合： ３条３項吸収量＝ 2012年の炭素蓄積量（5）－ 2008年の炭素蓄積量（7） ＝－2（2 [t-C/ha]の排出） ■ ただし、３条３項の活動が2008年以降に実施された場合、活動が開始された年と2012年の間の炭素蓄積量変化 ■ ある土地に植林・再植林をした場合の排出量は、同一の土地の吸収量を超えない（豪提案による）。
3条4項　耕作地管理・ 牧草地管理・植生回復		■ 基準年と第一約束期間の間のネット―ネット方式 ■ 算出式： ３条４項吸収量＝ 第一約束期間中の正味吸収量－ 基準年正味吸収量×５

2.1.5. 「吸収源キャップ」

この論点は、キャップの対象活動と上限値に分けられる。前者に関しては、COP6当初、アンブレラが森林管理のみを主張したが、それに対し、EU はプロンク提案（森林吸収全体）を支持、G77＋中国は３条４項を認めないと主張した。具体的な上限値に関しては、アンブレラに属する日加豪露、ならびに EU から具体的な提案がなされた。この２つの論点に関してはいずれも EU、途上国が COP6再開会合において譲歩し、日加豪露提案がほとんど無修正のまま採択された。最終的に合意された上限値は、プロンク包括提案のフォーミュラを参考に算定された上限値と各国の言い値を合わせたもののようである。興味深いことは、ボン合意の森林管理上限値がプロンク包括提案の（３条４項活動＋CDM/JI すべてに）３%を大きく超えるわけではなく、1.64%（暫定値）に留まることである。

2.1.6. 「活動の追加性」

結論から言えば、「活動の追加性」は合意に盛り込まれなかった。日加豪露は、「これら

はそもそも定義できないものである[2]」と主張し、それが認められた形となった。今まで主張してきているG77＋中国は抵抗しなかったことから推測すると、他の譲歩（特に資金援助や遵守委員会の構成で）が引き出せれば、特にプライオリティを置いている争点ではなかったようである。

2.1.7. 「割引率」

森林管理に適用する割引率に関しては、キャップである程度考慮された[3]ものの、日本、カナダ、オーストラリアは「議長提案の85％という割引率は、各国事情を考慮しておらず、恣意的な数字で、森林管理のインセンティブを阻害する」と主張し、それが認められた形となった。そもそもEUや途上国の懸念は吸収源の上限値に集中していたため、妥協を図りやすい争点であった。

2.1.8. 「CDMの吸収源プロジェクト」

CDMの吸収源プロジェクトに関するキャップは、基準排出量比１％に限定された。これも上記争点と同様にEUおよびG77＋中国が大幅に譲歩し、キャップとしてはかなり大きな値となった[4]。また、CDMにおける吸収源対象活動が植林、再植林に限定され、森林保全は対象外となった。これはIPCC特別報告書には、「人間活動、環境の変化などにより、既存森林の保全は必ずしも温室効果の長期的緩和に寄与するものではない」と脚注で述べられており、この脚注の導入を強く主張するブラジルとそれに反対する先進国が鋭く対立した。このIPCC総会における議論により、妥協できる選択肢としてCDMの対象活動を植林、再植林に限定するオプションが現実的であるとの認識が交渉担当者の間に生まれ、それがボン合意の交渉に影響したものと考えられる。

前述した四つの問題点に対して、ボン合意が持つ含意はどういうものが挙げられるだろうか。まず、「追加性」条件は、論点から外れたと言ってもいいだろう。上述のように、日加豪露の主張が通った結果である。また、不確実性の問題に関しては、IPCCが不確実性の管理に関する報告書を作成し、それをCOP9で採択することになっている。ただし、これまでの交渉の経緯を考えると、追加性や不確実性を理由として、第一約束期間の吸収量に割引率が適用されることは、考えにくいことである。何らかの制限が課せられるとすれば、おそらく、森林管理の適格性（Eligibility）として森林認証のような条件が付けられるかどうかということ、すなわち、管理された森林として登録する際に何らかの制約が設定されるかどうかという点にあるものと思われる。

「人為性」条件に関しても、IPCCが直接的かつ「人為的」活動を除外するための現実的な方法を考案することになっている。永続性は、国別排出量に関わるところでは議論されなかったが、吸収源CDMでは、永続性に配慮する形で植林、再植林に関する定義や算入方法などをCOP9で採択できるよう、SBSTAが策定することになっている。吸収源の多様

---

[2] 厳密に追加的活動の吸収量を勘定するには、ベースライン（議定書が実施されなかった場合の吸収量）が必要である。これを算定することは事実上困難であり、その方法も各国で統一しなければならず、交渉が長期化する恐れがあった。

[3] 最終的なキャップの絶対値を決めるに当たって、欧州諸国（東欧も含む）には森林管理に適用されるプロンク包括提案の森林管理算入フォーミュラが適用された；左記フォーミュラ＝（３条３項補填量；上限は8.2 [Mt-C/年]）＋（左記補填後の森林管理吸収量×0.15）。

[4] しかし、議定書をすでに離脱しているアメリカにとってはかなり厳しくなっただろう。アメリカは吸収源CDMによるクレジット獲得量を相当量、見込んでいたからである。

な機能・価値も同様に、吸収源 CDM のところで言及された。

このように、「追加性」条件を除いては、これからの交渉を待たないと現時点では正確な評価はできない。少なくとも言えることは、他の遵守などの争点に比べて、吸収源は交渉のアジェンダ・セッティングを IPCC に依存するところが大きくなるということである。したがって、上記の問題に関しては、これまでと同様、IPCC における科学的検討と、COP／SBSTA における政治的な交渉が並行して実施される可能性が高い。

2.2. 森林・農業資源の多様な機能・価値

森林や農耕地等の陸域生態系は、極めて重要かつ多様な価値・機能を有しており、炭素吸収機能を、全体とのバランスをとりつつ評価する必要がある。特に、発展途上国において実施される CDM における吸収源の利用に関しては慎重な取り扱いが必要となるため、ボン合意では、吸収源 CDM は植林活動に限定され、その実施に際し、生物多様性の保全などの問題にも配慮しなければならないことが規定された。今後、排出権取引等の京都メカニズムが本格的に動き出せば、吸収源活動による炭素吸収量は、クレジットとして売買することが可能となる。CO_2吸収機能に過大な経済的価値が発生した場合、他の機能・価値とのバランスが崩れることをどのようにして防ぐかが今後の重要な検討課題となってくるであろう。国内活動の森林管理に関して、持続可能な森林管理などの基準がどの程度、３条４項の活動として認証される際の国際的なクライテリアとなるのかは現時点で不明であるが、ヨーロッパ各国においては森林管理認証が一般的になりつつある。

3．地球温暖化の湿地生態系への影響

これまでに見てきたように、京都議定書では、森林の減少や植林活動、森林管理が吸収源活動として認められた。しかしながら森林・湿地の保全については吸収源活動として認められることはなかった。特に湿地を開発行為等によって減少させてしまった場合には、数千年間にわたって蓄積した泥炭中の炭素が長期間にわたって分解・流出し、大規模な炭素排出源となる。従って、湿地を保全することは、湿地における貴重な生態系を保全するのみならず、地球温暖化防止の観点からも大変重要な意味があることになる。湿地を保全する際のもうひとつの課題は、地球温暖化に伴って湿地が受ける影響の問題である。地球温暖化は、高緯度帯において特に激しい温度上昇を伴うことが予想されている。大幅な温度上昇に伴って、湿地に流入している水量が大きく減少することになれば、湿地にとって最も重要な条件が失われて、結果として湿地が失われ、さらに湿地から炭素が放出され、温暖化がさらに進行するという問題が発生する可能性が指摘されている。本報告では、地球温暖化に伴って、湿地のどのような影響があるのかを把握するための研究例として、人工衛星画像を用いたリモートセンシング手法による解析結果を紹介する。

釧路湿原は日本で最大の湿地であり（18,290ha），北海道東部の釧路市近郊に位置している（東経146度26分，北緯43度09分）。湿原は4000年前に形成され，泥炭層の深さが最高６mの場所もある。湿原の70％が浅い沼地，スゲ草原，およびそれらの混合による沼沢地である。ヨシ（*Phragmites australis*）およびスゲ（*Carex lyngbyei* および *C. rhynchophysa*）は，水環境および栄養塩供給により支配されている沼沢地とスゲ草原の移行帯において一定の割合で共生している（図2.25）。

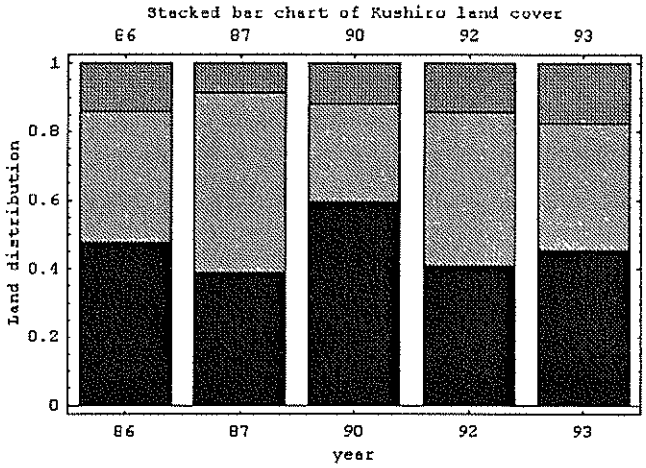


図2.25　86/06/28，87/06/24，90/0702，92/06/28，93/07/01に撮影された土地被覆カテゴリー間の土地分布（①－スゲ，②－ヨシ，③－水域）

しかし，ヨシは単一種による群落を形成する傾向があるため，ヨシとスゲのバランスは安定していない。気候の変動がなければ，移行帯の全域でヨシがスゲにとって変わるだろう。ヨシとスゲのバランス（そして生物多様性）を維持している気候的な撹乱はこれらの種の生態生理学から推測することができる。しかし，生態生理学的なアプローチは定性的な答えしか与えることができない。定量的な評価を行うためには，ヨシとスゲの分布が気候に反応してどのように変化するかを観測することであり，リモートセンシングデータは，ヨシおよびスゲのバランスと気候を関連付ける有用なツールとなる。1㎡の区画，または数100㎡規模の区画でさえも，土地被覆に対する気候の影響を完全に予測することはできない。偶然といえる要因が，ある特定の反応の原因となる可能性もある。従って，湿原の植生への気候影響を評価する大きな実験プロットが必要である。リモートセンシングは大量のプロットの反応に関する情報を提供することが可能であるため，この問題に対応することができる。

数年間にわたるランドサット画像の分析により，スゲーヨシの比率が大きく年々変動していることが明らかになった。1987年には釧路湿原の大部分を占めるスゲーヨシ沼沢地の53%をヨシが占めていたが，1990年には28%まで減少し，1986年，1992年および1993年には37－44%の間を推移している。対象区域は直接的な撹乱（放牧，火災など）を被っていないため，年々変動はスゲーヨシ比率の気候変化に対する感度を示している。

気候指標に対するヨシの比率をプロットすることにより，高成長期間（4月－6月）降水量との負の相関が明らかになった（図2.26）。このことから，ヨシはスゲよりも標高の低い生育域をもち，春季の洪水に耐性があると解釈することができる。これは，標高に沿ってヨシの分布をシミュレーションして得られた結果により説明することができた。シミュレーションの結果は，沼沢地の表層における台地状地形に生じたくぼみがある場合にこのような反応が生じることを示している。

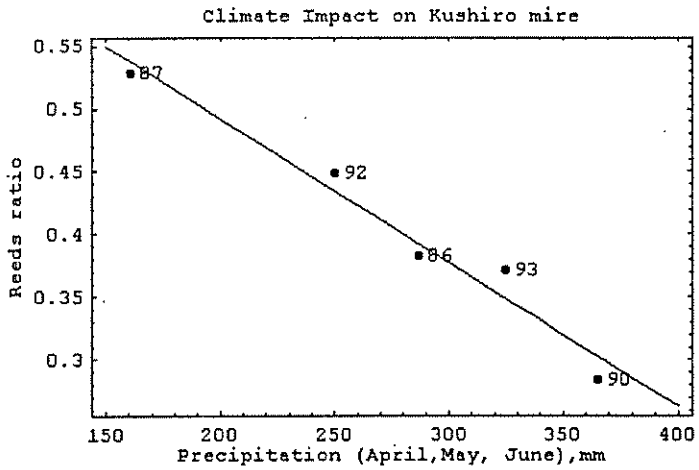


図2.26　ヨシの比率と4－6月の降水量の相関（直線は y=0.721644－0.00114798x）

スゲ－ヨシ比率の年々変動を説明するもう一つの気候指標は，成長期間の積算気温である。ヨシは侵入種としてよく知られ，スゲおよびヨシの両者に適した地域ではヨシが優位であると考えられている（図2.27)。さらに，この利点は温かさの指数に依存している可能性がある。植物のフェノロジーは一般的に，ある一定気温以上が継続することにより得られる積算気温と関係があり，ヨシはスゲに比較して，一定の成長段階を経るためにより高い積算気温が必要である可能性がある。この仮説の裏付けとなる証拠がリモートセンシングによる研究結果により明らかにされている。1992年－1993年におけるヨシの比率の減少，同じく1986年－1987年の増加は，高成長期間（４月－６月）における積算気温の増減と一致していた。しかし，ヨシの比率の温度依存性は直線関係ではなく，一対一対応として説明できないことが推測された。気温上昇への反応は気温低下への反応とは異なる。このような異なる反応は効率的に侵入する侵入種にとっては典型的なものであるが，定量的に説明するためには複雑なモデルが必要である。

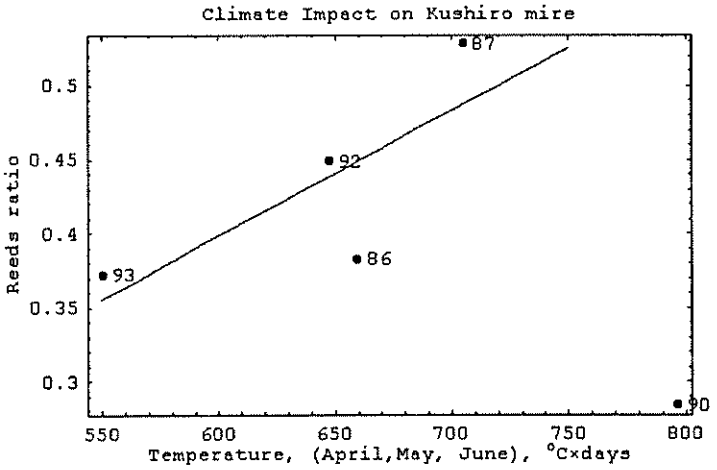


図2.27　ヨシの比率と４月から６月の積算気温の相関
（直線は，y=－0.111884＋0.000849989x）

温暖化は釧路湿原へヨシの侵入，スゲの置換およびその結果生じる生物多様性の減少をもたらす危険性を生じさせることが予測される。本地域における気候シナリオは，４－６月の累積気温が215℃day 増加し，同期間中の降水が40mm減少することを示している。現在の気候，つまり過去30年間の平均的と考えられる気候のもとでは，累積気温の平均値は700℃day であり，4－6月の降水量は290mmである。これは1986年の気象の状況とほぼ同程度であり，1986年－1987年の気候変化は，温暖化シナリオの方がより顕著な気温上昇（215対50℃day）とあまり明確な差がみられない水位の低下（40mm対150mm）ではあるが，温暖化のシナリオと同程度と考えることができる。したがって，気候変化の影響が4－6月の気温に大きく作用するとすれば，スゲは完全に置換される。

温暖化の影響評価に関しては，温暖化から予測される気候変化が過去に観測された変化と異なることが主な問題となっている。1986－1987年の気候変化は温暖化と全く同一ではないため，観測された気候の影響を用いて，温暖化の影響を信頼性高く外挿することはできない（図2.28）。本研究で用いた気候の影響評価のデータは，４－６月の降水量の40mmの減少が４－６月の気温の大幅な上昇と矛盾することを示している。予測による気候変化が過去の変化と相似型ではないため，プロセスベースのモデルを用いる場合にのみその影響を評価することが可能である。リモートセンシングから得られるデータは，モデルの検証を可能にし，予測の信頼性を高める。

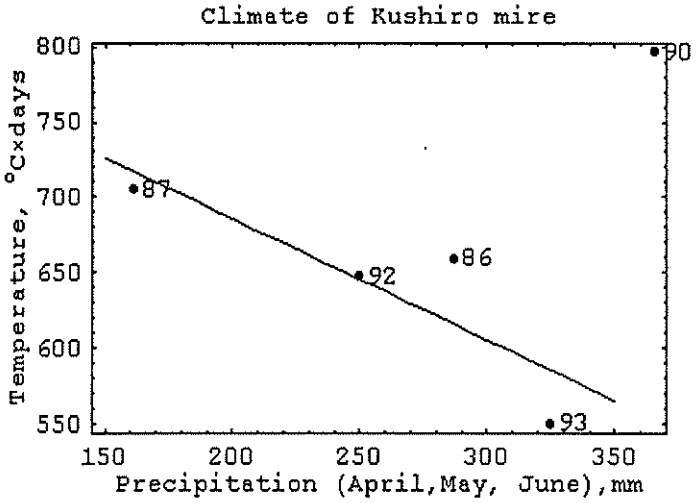


図2.28　４－６月の気温と降水量の相関（直線は y=845.335－ 0.800216x）

参考文献

IPCC (2000), *Special Report on Land Use, Land Use Change and Forestry*, Harvard University Press, Harvard, 2000.

Yamagata, Y. and G. Alexandrov (2000). 'Would forestation alleviate the burden of emission reduction? An assessment of the future carbon sink from ARD activities', *Climate Policy*, Vol. 1, No.1, Jan. 2001, pp. 55-74.

山形与志樹・石井敦（2001）.『京都議定書における吸収源：ボン合意とその政策的含意』;

CGER Report (CGER-D029-2001), 2001 年 10 月.
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』; CGER Report (CGER-D027-2000), 2000 年 10 月.

京都議定書での吸収源の取り扱いと森林・湿地保全活動

(Treatment of Carbon sink under the Kyoto Protocol and forest/wetland conservation activities)

山形与志樹(Yoshiki Yamagata)

国立環境研究所(NIES)
地球温暖化プロジェクト
炭素吸収源評価研究チーム

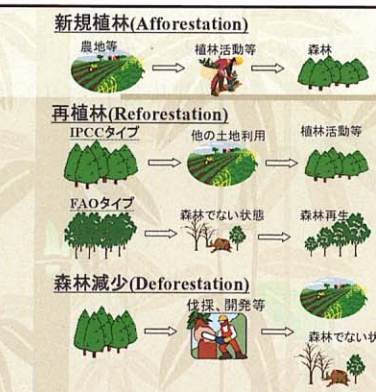


図1. 3条3項活動(Article 3.3 Activities)の説明図

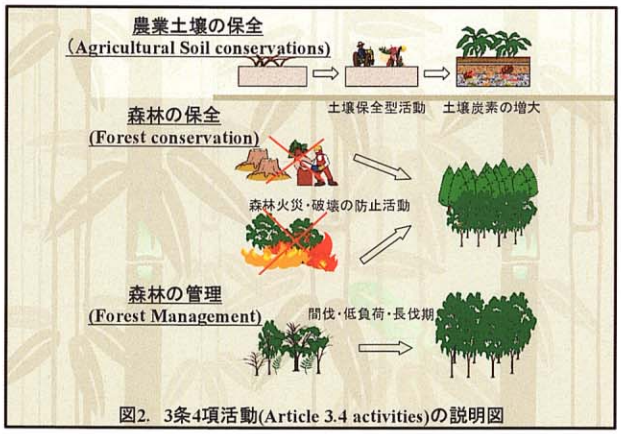


図2. 3条4項活動(Article 3.4 activities)の説明図

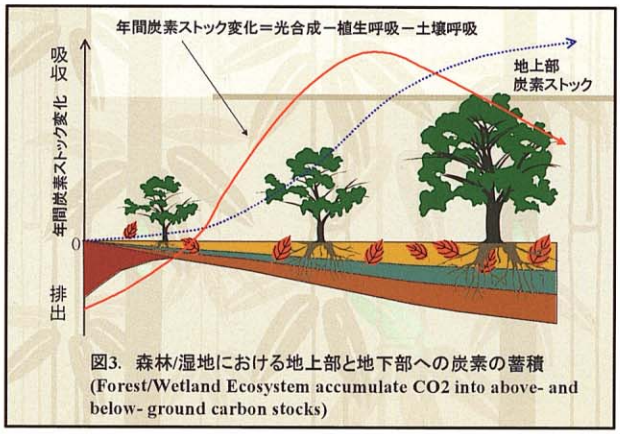


図3. 森林/湿地における地上部と地下部への炭素の蓄積
(Forest/Wetland Ecosystem accumulate CO2 into above- and below- ground carbon stocks)

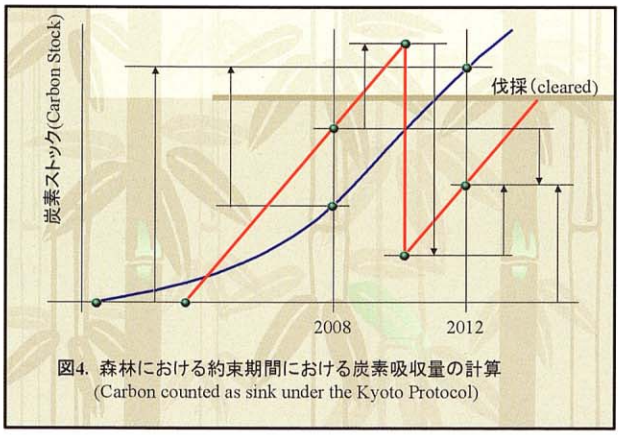


図4. 森林における約束期間における炭素吸収量の計算
(Carbon counted as sink under the Kyoto Protocol)

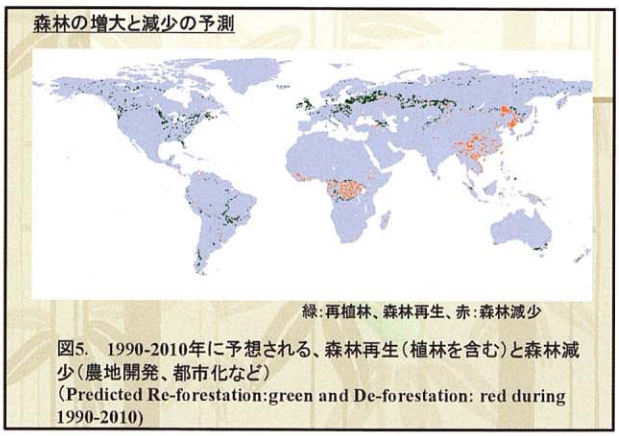


図5. 1990-2010年に予想される、森林再生(植林を含む)と森林減少(農地開発、都市化など)
(Predicted Re-forestation:green and De-forestation: red during 1990-2010)

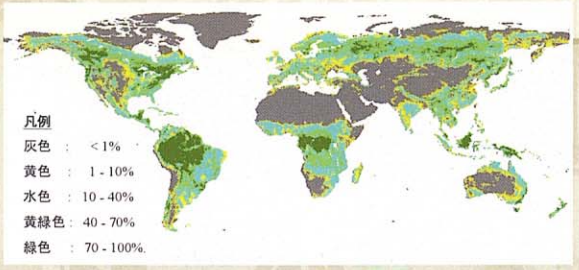


図6. 1995年のリモートセンシング画像を用いて推定された森林の樹冠率(Tree Canopy Cover Ratio observed by sattelite in 1995)

表1. 京都議定書でカウントされる世界の森林炭素吸収量予測 (Predicted global carbon sink by forest related activities under the Kyoto Protocol)

先進国(発展途上国) Annex I (non=Annex I)	森林定義における樹冠率 (Tree Canopy Cover in forest definition)		
	閾値なし (No threshold)	10% 閾値 as threshold	40% 閾値 as threshold
吸収量 (Sink:Mt/yr)	228 (206)	78 (0.041)	170 (174)
排出量 (Source:Mt/yr)	17 (591)	17 (586)	12 (478)
正味吸収量 (Net Sink:Mt/yr)	**211** (-385)	**61** (-545)	**158** (-304)

COP6における決定事項(Decisions at COP6)

＜3条3項＞ Art. 3.3

- 森林の定義(Forest def.)⇒FAO定義
- 活動の定義(ARD def.) ⇒IPCC方式＝土地利用変化 (IPCC scenario=Land use change)
- CDMでも可能(発展途上国への植林：最大90年排出比1%) (CDM allowed up to 1% of 90 emission level)

＜3条4項＞ Art. 3.4

- 森林管理、農地管理、放牧地管理、再植生化 (Forest, Agricultural and grass land management, re-vegetation)
- 各国ごとに最大値が設定された。(最大3.9%) (Capping determined for each country: 3.9% for Japan)
- JI(先進国同士の共同も可能、ただし最大値まで) (Joint Implementation between Annex-I counties possible)

＜その他＞ Other issues

- 他の環境問題への悪影響を及ぼさないこと (Negative effects for other environmental issues should be avoided)
- 計測手法については今後IPCCで検討する (IPCC assess the methodologies for measuring carbon sinks)

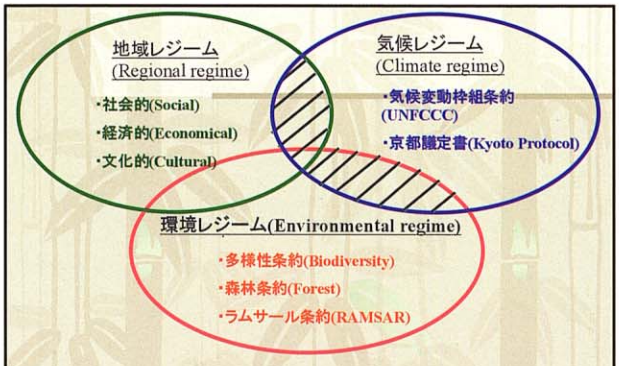
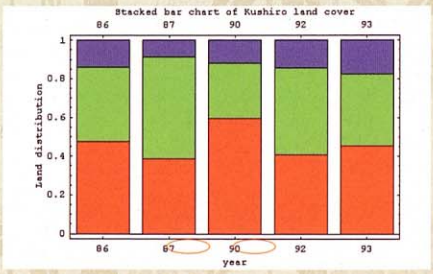


図7. 吸収源の国際制度に関わるインターリンケージ問題群 (Interlinkage Issues to do with the carbon sink)

リモートセンシングで把握したヨシとスゲの年次間変動 (Land distribution between reeds and sedges

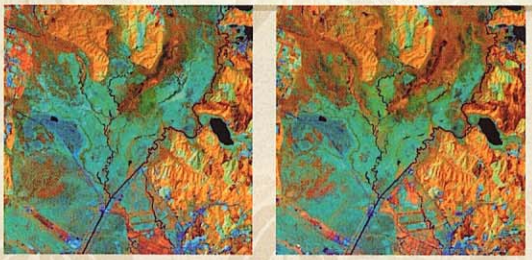


利用したランドサット画像 (derived from the LANDSAT images taken on) 86/06/28, 87/06/24, 90/07/02, 92/06/28, 93/07/01.

赤:red –スゲ:sedge, 緑:green –ヨシ:reed, 青:blue –水:open water

ランドサット画像(LANDSAT/TM image)

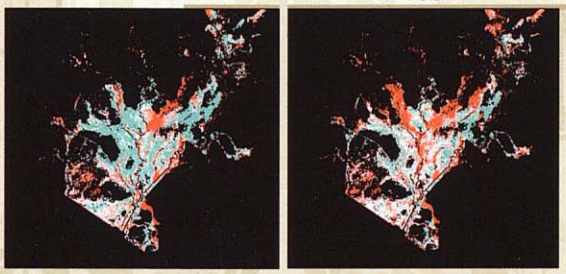
1987/6/24 1992/6/28



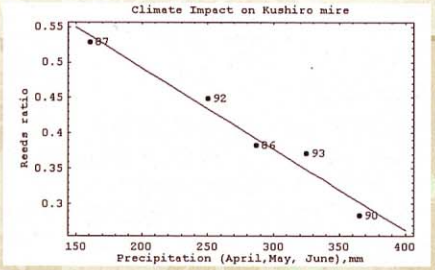
R:G:B=TM band4,5,3

ヨシとスゲの混合比率(Mixture ratio image of Sedge and Reed)

1987 1990



スゲ (Sedge)
ヨシ (Reed)



初夏の降水量が植生の構成比率を決定している
(Dry spring favors reeds expansion)