

スターンレビュー：付録 7f 土地利用変化及び森林セクターからの排出

本付録は、土地利用変化からの排出の原因や、今日における当該セクターからの主たる排出源、過去および将来的なビジネス・アズ・ユージュアル(特に対策を行わなかった場合を指す。以下、BAU)の推移、排出量増加の要因、排出削減の可能性などの背景を明らかにするものである。

土地利用変化は 2000 年時点で、地球全体の温室効果ガス排出の 18%を占めていると推計されている。電力部門に次いで 2 番目に大きな排出源である。土地利用変化における排出は森林から牧草地への転換などといった、人為的な土地管理の変化によって起こる。以下のセクションでは、自然の炭素循環における植物や土壌などの土地の役割、及び、人間による土地利用の変化がどのように多大の二酸化炭素排出を引き起こすのかを明らかにしていく。

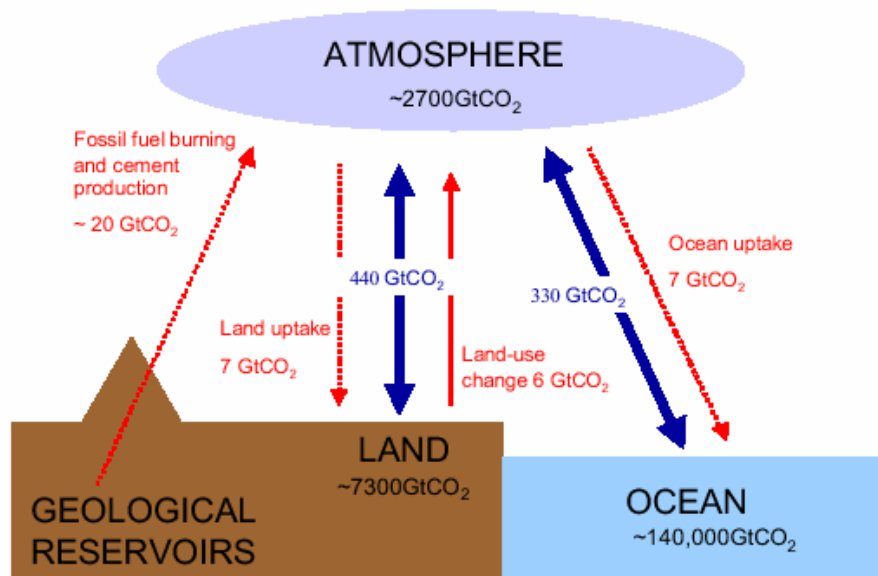
自然の炭素循環

炭素(酸化した状態で、二酸化炭素)は地球の自然システムを絶え間なく循環しつづけている。図 1 に大まかなフローの概念図を示す(詳細については IPCC2001 参照)。ここに関連する炭素循環の構成要素は土地、主に植物と土壌に関連している。主な自然のフローは以下の 2 点。

- ・ 呼吸により大気圏に放出される炭素(生物圏の“息”。つまり、酸素を取り込み、二酸化炭素を放出する)及び、有機物の腐朽。
- ・ 光合成を通じ、植物が成長するにつれて組織内に炭素が蓄えられることによる、植物の炭素固定。ここで蓄えられた炭素は、一部、根や葉、落ち葉などを通じ土壌へ移動する。

図 1 に示すとおり、これらの自然なフローは土地と大気圏間ではトータルで年間 440GtCO₂ であり、おおよそ均衡がとれている。現在 7,300Gt 強の CO₂ が植物と土壌に蓄積されており、残存する石油資源に含まれているものよりも多く、大気圏にある量の 2 倍以上であるといわれている。もし、これらの蓄積が乱れた場合、大量の炭素排出をもたらしかねない。

図 1：IPCC 1980 年代における炭素フローの推計（単位：年間 G t CO₂） - 自然な炭素フローは青、人為的なものは赤の矢印；土地利用変化からの純排出は赤の矢印で示している。大気、土地、海洋について炭素蓄積の推計を行っている。人為的要因での排出（土地利用変化、化石燃料の燃焼、セメント生産）の半分は土地と海洋に取り込まれるが、半分は大気圏に留まり、炭素蓄積を増やしている。土地と海洋の増加している取り込み分は以下に表しているが、これは大気圏における二酸化炭素の集中への自然な反応である。



人的な土地利用変化による排出源の現状

人為的な土地利用の変化は、大気圏に放出されたり、生態系に固定されたりする CO₂ 排出の間の地域的なバランスにも変化をもたらし、土地蓄積における炭素の集積や喪失を引き起こす。これらのフローを正確に計測することは非常に難しいが²、Houghton(2003)の推計によると、2000 年における人為的な土地利用の変化が約 8GtCO₂ の排出を引き起こしたという結果がでている。これは、明らかに土地から大気圏へのトータルフローに比べれば極少量であるが(2%以下)、気候には甚大な影響を与えることに違いはない。

図 2 を見ると、森林減少が土地利用変化による排出の最も大きな排出源の一つであり、2000 年における 8 GtCO₂ 強の排出に関与していることがわかる。森林減少は以下のような過程で排出を誘引する：

- 樹木や植物の中に蓄積される炭素は、直接的な燃焼（焼畑など³）や、より緩やかな有機

¹ 出典：IPCC(2001)、図 3.1 を引用編集

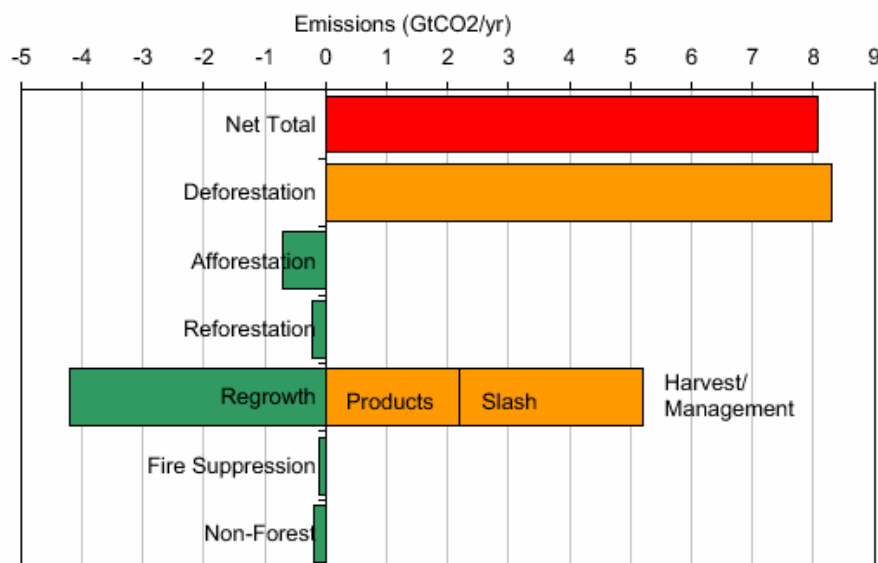
² 全ての推計によれば土地利用からの排出は甚大であるが、研究によってその排出規模は異なる。WRI の推計（Houghton, Hackler2002 を使用）では、IPCC 第 3 次評価報告書の推計値の中間もしくはより高くなっている。手法としての推計範囲と不確実性についてのより詳しい議論については、Houghton（2003）参照。

³ 注）木材やその他のバイオマス製品の燃焼は通常は土地利用変化推計には含まれない。これらは最終利用部門に包括される。（例：熱源、建築、工業）

物としての腐朽によって、二酸化炭素として大気中に放出される。1850年から1990年の間に、生存している植物は400GtCO₂の純損失（1850年の植物相蓄積の20%に相当）⁴と推計されており、この損失のうち、20%は林産物（木材など）や倒木の中に固定されたままだが、80%は大気圏に放出されている。

- 植物の伐採や、その結果生じる土地利用の変化は土壌も乱し、土壌中に蓄積していた炭素の一部が大気へ放出してしまう原因となっている⁵。1850年から1990年の間で、土壌からの純放出量は約130GtCO₂であった。

図2⁶ 2000年の世界の土地利用変化からの排出源



また、森林減少は植物による二酸化炭素吸収を減少させてしまうため、大気中にはより多くの二酸化炭素が残される。しかし、この影響は蓄積された炭素の急激な放出、特により古い植物を除去する場合に比べれば、大抵とても小さなものである。

新規に樹木やその他の植物を植えることで、炭素吸収を強化することができる。つまり、土地の炭素蓄積量を増加することができる。2000年における、新しい森林の植林（新規植林）や、古い森林地の再構築（再植林）によって増加した吸収量は1 GtCO₂と推計される（図2）。これらはその他の活動からの排出を相殺するため、“消極的な”排出、（つまり排出の抑制）と考えることができる。排出という言葉において、1本の木を植えることが、すなわち即座にその他の木の伐採を相殺するものではないことに注意しなければならない。木は二酸化炭素を非常に長い時間をかけて吸収する。木を切ることで急激に排出される二酸化炭素を全て回復する

⁴ Houghton (2005)

⁵ 森林減少は土地の次の利用状態によっては最大40%の土壌炭素を喪失することにつながる。畑地、牧草地、草地への転換は最も多く炭素を奪う。Palmほか（2005）

⁶ 出典：Baumertほか（2005）を再編、データ原本はHoughton(2003)より。熱帯国の森林減少及び再植林には耕作移動の純効果のみが含まれる。人工林の新規植林地域は先進国では一般的には報告されていない（この推計には中国の人工林のみを含む）。火災の抑止はアメリカしか含んでいないため、おそらく過小評価である（同様の価値はその他の地域でもありうるだろう）。非森林には農業土壌への木質拡大や土壌からの排出を通じたCO₂隔離を含む（新しい土地の耕作からの結果のみ。最近の農業施業の結果による炭素蓄積ではない）。

ために新たに木を育てるとなると、1世紀やそれ以上かかる。つまり、森林減少を減らす政策の方が、排出を抑制するという目的からすると、新規植林や再植林に比べて、より生産的である。

土地利用部門のその他の排出の抑制要素として、森林管理と伐採がある。1 GtCO₂ 強の純排出と火災の抑止と非森林活動からの極めて少量の排出削減をもたらす。しかしこれら少量の削減の効果は低めに推計されていると考えられる。なぜなら、データの不足により、特定の地域や土地利用変化だけしか含んでいないからである。例えば、ここでは農地土壌の CO₂ 排出は除外されている。

過去の排出トレンド

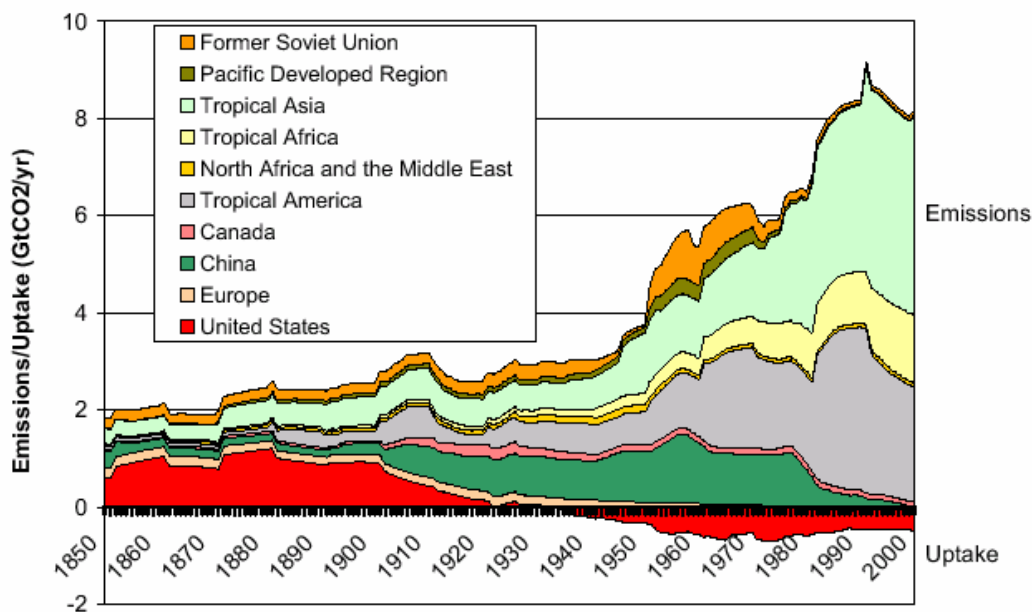
土地利用変化からの排出は、排出の大部分が熱帯(発展途上)国で起こっているという点で、その他の部門とは異なる。2000年には、55%の排出が熱帯アジアから、30%が熱帯アメリカ、20%が熱帯アフリカからといわれている⁷。一方、アメリカ合衆国、ヨーロッパ、中国は新規植林、再植林プログラムにより、2000年は純吸収国となっている。しかし、この吸収量をもってしても、熱帯における森林減少からの大規模な排出を無効にするにはまだまだ足りない。

図3は、1850年から2000年までの土地利用変化による排出と吸収の地域別分析を示している。20世紀初頭までは、排出は先進諸国からもたらされていた。その後には途上国地域の爆発的な排出が起こっている。これは、土地利用変化は国の開発・発展に密接に関係しているという事実を反映している。地域が発展するにつれ、森林を切り開き、農地や居住地を拡大する傾向がある。1850年から2000年間の土地利用変化からの排出は、熱帯地域の急激な排出増により、2倍以上となっている。熱帯における森林減少は特に強い影響も持つ。なぜなら、熱帯林における木材は平均でも、熱帯以外の樹木に比べ、ヘクタール当りの炭素保有量は50%も多いからである⁸。1995年以来、年間排出総量は7-8GtCO₂程度で安定している。

⁷ Carbon Dioxide Information Analysis Centre (CDIAC) using Houghton and Hackler (2002).

⁸ Houghton (2005)

図3⁹ 1850年から2000年における土地利用変化からの吸収及び排出：1940年以降の抑制傾向にある排出(吸収)は合衆国(2000年、0.4GtCO₂/yr)やヨーロッパ(2000年、0.07GtCO₂/yr)における森林面積の増加が大きな理由である。1990年におけるピークはインドネシアの森林火災に関連している。



排出の要因

上述の通り、土地利用変化の主要な要因は森林から農地への土地転換である。追加的な農地の需要は国によって様々な背景がある。アフリカでは主に小規模の自給自足的農場である。南アメリカでは、企業による大規模農場であり、輸出用の牛肉や大豆を生産している。南アジアでは、要因は以上の2事例の中間であり、主要な生産物は油ヤシ、コーヒー、木材である。グローバルレベルでの農業の需要は、人口と収入に左右される(Annex7.g参照)。より地域的なレベルとなると、農業価格(及び補助金)、インフラ、市場アクセス、土地所有が、農地転換を誘発する要因と考えることができる。

林産物需要もまた、土地利用変化による排出の要因となっている。伐採者は、最も樹齢が高く、価値の高い木から伐採する。その木に含まれる炭素は排出されてしまう上、伐採過程で、その周辺の木もダメージをうける。もし、伐採が持続可能な形態で行われた場合、例えば、1つの有用樹種に限った場合、森林の再成長量はいずれ排出を相殺することができる。これらの理由から、伐採自体が必ずしも森林減少の主要な要因であるわけではないといえる。また、長持ちする木材製品として木材が使用されれば、その製品の寿命の間は実際に炭素を保存している。莫大な排出は、持続可能ではない割合で伐採が行われている場所で起こる。例えば、東南アジア地域においては、急成長する地域経済の強い木材需要により集約的な伐採が進んでいる。

⁹ 出典:Carbon Dioxide Information Analysis Centre (CDIAC)using Houghton and Hackler (2002)

伐採のより広範な影響は、設備の搬入や木材の搬出のためのアクセス道路の建設であり、これが森林をより脆弱にし、居住地や農地への転換のため、皆伐されるようになってしまう。新規の林道は、閉ざされた地域に開設され、農産物市場のアクセスを可能にしている。

BAU の排出予測

全ての排出予測のように、土地利用変化による将来的な排出は確定されている。しかし、現在の森林減少の速度が続けば、2100 年までに森林が減少傾向にある上位 10 ヶ国のほとんどで森林が完全に消失してしまうことは明らかである。一つの例外として挙げられるのはブラジルで、この国の広大な森林（5.4 億 ha¹⁰）が今の減少速度で消失してしまうには 200 年かかるといわれている。ブラジルに現在残っている森林の全てを伐採してしまうと、300GtCO₂ 以上の排出を引き起こしうる。図 4 に 6 つの異なる排出予測を提示した。そのうち 5 つは IPCC が描いた排出シナリオである。

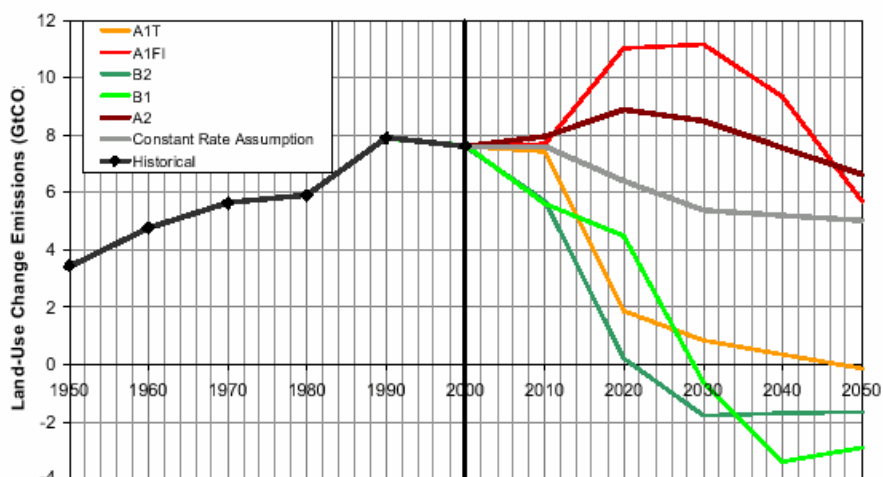
IPCC 予測は土地利用変化による排出の異なる予測を用い、幅広い将来の社会経済シナリオをカバーしている。それぞれのシナリオでは、森林減少による排出は、人口成長、森林枯渇と農産物需要といった要因によって発生する。環境的な持続可能性をより重要視した世界（B1 および B2）では、最も排出が少ない。2020 年から 2030 年までの間、これらの社会経済シナリオでは新規植林と再植林プログラムが実行され、排出は抑制されることになっている。

図 4 に示した最後のシナリオは、Houghton(2005)によるものである。このシナリオでは、国家の排出量は、過去の速度で続くと仮定する（過去 20 年間の森林減少における平均速度）。排出の効果と仮定される唯一の要素は森林の減少である。Houghton は 2000 年比 15%の森林が残っている時点で森林減少が停止するという任意の仮定を設定している。その簡素性と透明性により、本レビュー内に「BAU」のシナリオとして用いられている。このシナリオの下では、排出は 2012 年までに 7.5GtCO₂/yr 前後を維持し、2050 年までに 5 GtCO₂、2100 年までには 2 GtCO₂ にまで減少する¹¹。

¹⁰ FAO 2001

¹¹ Houghton 2005, based the FAO 2001

図 4.12 1950 年から 2000 年までの土地利用変化による CO₂ 排出と将来排出予測



排出削減の可能性

現在の推計を見ると、土地利用部門は将来の排出削減に向けて、大きな潜在能力をもっているといえる。本レビュー9章(9.4節)によると、2050年の経済部門による削減能力は少なくとも5.5GtCO₂である。もしもこれが達成されるならば、部門からの純排出はマイナス0.5GtCO₂前後となるだろう(Houghton(2005)BAUの仮定より)。これには回避できた森林減少や新規植林、再植林と森林管理施業(25章ボックス25.4に述べられているような、アグロフォレストリーなど)が含まれている。この結果は低く見積もられているかもしれない。というのも、限られた国の数からの削減量と、削減タイプしか含んでいないからである(詳細は9章を参照)。大半は、CO₂を1トンあたり5ドル程度、もしくは可能であれば1ドル程度のコストで回避する森林減少によって排出が削減されている。

過去、農業や居住目的での森林伐採は、発展の基本的な構成要素であった。しかし、これからの未来にはもはや必要ないものである。本レビュー25章では例えば貧困の削減、所有権の確立、持続可能な林業と農業技術の実施を通じた開発過程の支援によって、森林減少をどのように回避できるかを議論している。

(以下、参考文献リスト省略)

¹² 出典:過去の排出については Carbon Dioxide Information Analysis Centre (CDIAC)より Houghton and Hackler (2002)、予測については Houghton (2005)及び IPCC (2000)。注) IPCC SRES 予測は過去の計測との一貫性を維持しながら計算した。