森林の生態系と地球温暖化の緩和：ロシアと米国からの例

オレゴン州立大学
オルガ N. クランキーナ

産業革命以来、大気中の CO 2 の濃度は人間活動の結果、劇的に増加した（275 ppm から366 ppm へ)。最近の大気中の CO 2 レベルとその増加率は過去42万年のいかなる時よりも高い。20世紀に観測された地球気候の変動はこうした増加の結果と思われる(Prentice et al. 2001)。化石燃料の燃焼と土地利用形態の変化が大気中の CO 2 蓄積の主たる２つの源である。1850年から 1998年まで、270±30 Gt C(炭素)が化石燃料燃焼とセメント産業のため排出され(Marland et al. 1999) 、一方土地利用の変化による排出は136±55 Gt C と推定されている(Houghton et al. 2000)。炭素排出を促す土地利用形態の変化には森林伐採(排出の87%) と草原の開墾(13%)が上げられる。化石燃料の蓄えと異なり自然の生態系は炭素の備蓄を回復する強い能力があり、大気から炭素を除去することができる。IPCC 第３回アセスメントの報告（The IPCC Third Assessment Report 2001）によると地球の生物が緩和する能力は2050年までには約100 Gt C であり、そのほとんどは森林による。これはその時期の化石燃料が排出する約10-20%に相当する。こうした方策が地球の温暖化問題を解決できないのは明らかであるが、緩和策の重要な部分である。土地利用と林業の緩和能力への概算が幅が広く、炭素 １トンにつきアメリカドルで0.1ドルから100ドルと見積もられる。生物多様性、土壌、河川などの保護、洪水や干ばつの緩和、地滑りの抑制、継続できる資源を入手できることなどが林業に基盤を置くプロジェクトに付随した利点である。効果的で持続する緩和策を見いだすには環境に配慮し経済的で社会的ゴールを目指した土地利用を総合的に行うことである。国家、地域、地元レベルの共同体が地球温暖化の緩和について地球生態系の役割を決めることになる。この文書は異なった空間の規模で森林の生態系における炭素の力学を調べ、森林での炭素除去の生物学的基本を説明する。

森林の生態系は地球上における炭素の循環に重要な役割を果たしている。森林はそのバイオマスと土壌に大気中のすべての炭素より多くの炭素を蓄えている。炭素の循環において森林の役割は生きている樹木には限らない。土壌、ごみ、枯れ木、伐採の残余物、林産物、廃棄物なども重要な役割を果たしているからである。

植物と大気間における炭素の置換は実に活発である。緑色植物による炭素の摂取と放出は多くの場合、化石燃料の燃焼からの排出すべてを上回る。炭素摂取についてのプロセスは光合成であり、光合成により作られた有機物は GPP(Gross Primary Production、一次総生産)と呼ばれる。それは地球規模では120 GtC と見積もられ、植物の呼吸を通じてその半分近くを大気に放出している。残りの部分は NPP もしくは Net Primary Production(純一次生産) として知られる。しかし、これは正味の炭素(Net C)保持の特によい方法とは言えない。なぜなら植物物質（生のバイオマスとゴミのどちらも）は微生物や動物により消費され、速やかに大気に戻るからである。維持されるのは NEP(Net Ecosystem Production)である。地球規模ではそれは10 GtC と推定され、化石燃料の燃焼により放出

される6.3Gt より多い。植生、ほとんどは森林、が NEP を恒久的に維持できるなら化石燃料が排出するすべてを相殺でき、大気中に炭素の蓄積の問題は起こらないであろう。しかし、収穫や農業のための伐採、また火事、洪水、干ばつ、台風、火山の噴火などによりNEP の大部分は大気中に戻される。こうした炭素のロスを考えると残った量はごく僅かで、地球上の森林が炭素の正味の吸収源（net sink）となれるのかどうか結論を出すのは困難である。

地球温暖化を緩和するため森林の働きを使おうという考えは光合成を通して炭素摂取を増加させ、もしくは炭素放出を減らすことである。どちらも同じように重要であり、バイオマスその他の炭素の貯蔵（pool）に物質が長期に保持できなければ炭素の摂取が増加するだけでは有用とは言えない。しかも大気中に炭素の蓄積の問題を投げかけるため生きた植生による炭素摂取を増加させることが必要とは限らない。地球の生態系から排出を減らすことが効果的であろう。大気中の CO２の増加を抑制する生物学的試みが３つ確認されている：

- 保全：現存する炭素の貯蔵（pool）を保全し、大気への排出を防ぐ；
- 除去：現存する炭素の貯蔵（pool）のサイズを広げ、大気から CO２を抜き取り；
- 置換：化石燃料やエネルギー集約的な製品を自然に優しい製品に換え、CO２の排出を減らす。

それぞれの方策には利点と不利な点がある。保全は排出を抑えることで速やかに恩恵を提供する。除去の影響にはＳ字形のカーブが続くことがよくあり、すなわち集積率が初期の誘導期の後最高になり、それから炭素の蓄積が最大限に近づくにつれゼロに落ち込む。置換の利点は基本的な排出の初期に起こるが、この恩恵は将来いつまでも続く（表.１）。明らかにこれらの方策の利点は対照的な一時的傾向を示し、相互に関連している。たとえば、保全は新たな除去を必要とし、置換は炭素を除去する植林を必要とするなどである。

炭素除去のための方策は様々でその有効性は森林生態系の初期の状態にかかっている。樹木に覆われていない土地には植林によりヘクタール毎に炭素が増大し、植林地は自然林劣化の圧力を減らして、炭素を保全する。しかし、老齢林あるいは年代林の伐採により、後にまた植林しても、その土地には長い年月炭素資源が残る。したがって原生林および老齢林にとって現存する炭素貯蔵を保全し護ることは近い将来の恩恵を受けられる唯一の緩和策となることがよくある。最良の緩和策は国、地域により様々である。多くの国家にとって森林伐採を減速し中止することが緩和策としてもっとも有効である。緩和策の選択は、経済発展を先ず念頭に置いて決定するであろう。そして土地利用形態変化の圧力と地域社会における資源の制約とを変える。

土地利用の歴史は炭素循環の現在そして未来における森林の役割を定義する強力なものである。数十年前炭素循環の問題が調査の優先事項として浮かび上がったとき、森林の役割を理解するのに生きた植物と環境生理学に焦点が置かれた。しかし炭素を包括的に予測すると、他の生態系の構成要素を考慮せずにバイオマスのみを調査しただけでは炭素の交換における森林の役割について誤った結論に到達することが分かった。また炭素の純計循

環の方向が時間(hours)から年(years)、数十年、何世紀あるいはそれ以上の規模の幅広い時間に起こる変動を受けることも明らかになった。その結果森林の景観は炭素供給と吸収(sources and sinks)のモザイク模様を呈し、地球の表面にそれを描くのは大きな挑戦である。炭素吸収源から供給源へ(from C sink to sourcre and back)の森林生態系の推移を引き起こす原動力を理解することも重要である。

森林生態系において炭素純計循環(net C flow)の方向を定義するプロセスは空間的尺度で異なる。個々の樹木は生きている間は普通、炭素の吸収源(sink)であり、枯れると炭素の源(source)になる。林分の尺度では樹木の死は二値過程(binary process)ではなく生のバイオマスと崩壊堆積物貯蔵(detrital pool)の間の再配分である。林分での炭素のバランスを決めるのには樹木の生長と死をゴミとその分解の産出のプロセスと考えるべきである。個々の樹木が炭素源であると同時に枯れ木の群れは炭素シンクの働きをするのであろう。樹木の死亡率が分解を通して炭素のロスを上回るからである。炭素の蓄積によって樹木の死亡率は問題ではなくなる。木の残骸中に炭素の蓄えを維持するという物質の流れだからである。その上生きている樹木の存在のみが林分が炭素のシンクであるということにはならない。例えば伐採や自然の脅威により再生した若い森林の多くは前の世代から大量の物質を受け継いでいる。この物質の分解による炭素の流れは若い樹木の炭素の蓄積より大きいことがよくあり、このことが炭素に関して長年、時に何十年も若い森林を維持する。

炭素の交換における森林景観の役割はシンクの段階で森林による炭素の除去に対する供給源（ソース）であり、炭素放出バランスによると定義される。地域レベルではそれぞれ独自の撹乱の歴史による景観生態がいくつかあるであろう。撹乱の歴史は社会的、歴史的な力により形作られ、炭素の流れ（flux）の方向を明示する主たる要因である。経済的発展を遂げた多くの地域では土地用の歴史は土壌から多量の炭素を失った。しかしこの同じプロセスが活性炭素の蓄積である大きな森林域を作り出した。合衆国東部に炭素の net sink の良い報告があり、土地利用による歴史的変化がそこでは炭素の蓄積率を統御する有力な要因として明確にされた（Caspersen et al. 2000)。

動的社会経済の環境において土地利用形態が変化した原因と結果を調査するため、２つの森林地域における炭素の力学を、対照的な土地利用の歴史と土地管理の変化で比較した。合衆国のオレゴン州西部と北西ロシアのサンクト・ペテルブルグ地方である。この２つの地方ではどちらも森林が土地を覆い炭素の蓄積であり、主役である。地域経済は木材資源で成り立ち、リクリエイション、観光が基盤である（表１)。どちらも1990年代に林業の劇的衰退を経験したが、この衰退の原因は２者で大きく異なる。合衆国太平洋北西部(PNW)における公有地の森林政策と管理例の転換とロシアにおける中央集権経済から市場経済への変換である。この２つの状況は公有地での生態系管理に向かう最近の代表的動きであり、どちらにしても市場経済を発展させたものである。巨視的経済の制度化した社会的な変換で経済的移行期によくあることである。したがってこの２地方における調査で土壌の炭素蓄積の社会経済的変化の効果をよく理解することは地球の他の広大な地域に当てはまる。

我々の調査は1970年代から1990年代の間の地域的な炭素の蓄積の変化を遠隔操作探知技

術に頼って行っている。変化の包括的評価のための地上データである。一連の階層的モデルを生きているものと生態系の“死んでいる”と称される部分（たとえば、岩屑、土など）を人間に利用される炭素（たとへば、木材、紙）の変化を模擬実験する。２つの地域では異なった生態系の成分中の炭素の配分が著しく異なる。PNW では森林のバイオマスと土壌が炭素の貯蔵であり、一方北西ロシアでは土の炭素貯蔵のすべての70%を泥炭地が含有する。PNW の森林生態系は北西ロシア（表１，グラフ２）よりはるかに生産的である。ところが、1970年代から1990年代の間に PNW の森林は平衡(equilibrium)または炭素の小さなソース(small source of C)に近くなり、北西ロシアの森林では炭素のシンクが活発になった。これは PNW の森林で一次林伐採の激しい時期が終わりを告げ、それにより大気中に多量の炭素が放出された(Harmon et al. 1990, Wallin et al. 1996, Cohen et al. 調査中)。対照的に北西ロシアでの林業は相対的に低く、1990年代には経済危機のため激しく落ち込んだ。ロシア経済が社会主義中央集権経済から市場経済へと転換したからである。さらに1890年代から1940年代のあいだの森林再生の鼓動が1970年代～1990年代間（図表２，上図）正味炭素蓄積がピークとなった。しかも北西ロシアにはさらに多くの炭素が泥炭地により封鎖されている（推定 0.2 TgC/year)。

この２地域調査は2000年から2010年の10年間に反転するようである。木材伐採のレベルが下がったままで、1980年代の転換期の激しい伐採に続いて若い森林が芽生え、正味炭素の供給源から吸収源(from net source to net sink)の状態で PNW での炭素の備蓄が増加するであろう。北西ロシアでは社会的な傾向が作動して純炭素の流れの方向が反転し、制度の変化、市場の圧迫、伐採技術の進歩、森林部門の外国からの投資の増加などで木材伐採が拡大する。そして植林する刺激を無くすことにより森林再生のプロセスが妨げられることになる。これは北西ロシアを活性炭素のシンクから炭素のソースへと転換する。

２つの地域の森林は炭素をより多く封鎖し、地球温暖化を緩和するのに役立つ。管理の選択を地域の管理者が明確に行い、長期的な伐採の循環が行えるよう、境界の農地に植林すること、様々な造林事業を通して樹木の成長を増進し、森林の粗い木の崩壊堆積物の保持に務める。適切な土地利用策を発展させ、増加した炭素の備蓄が経済的な刺激となり、変化を実現することが肝要である。

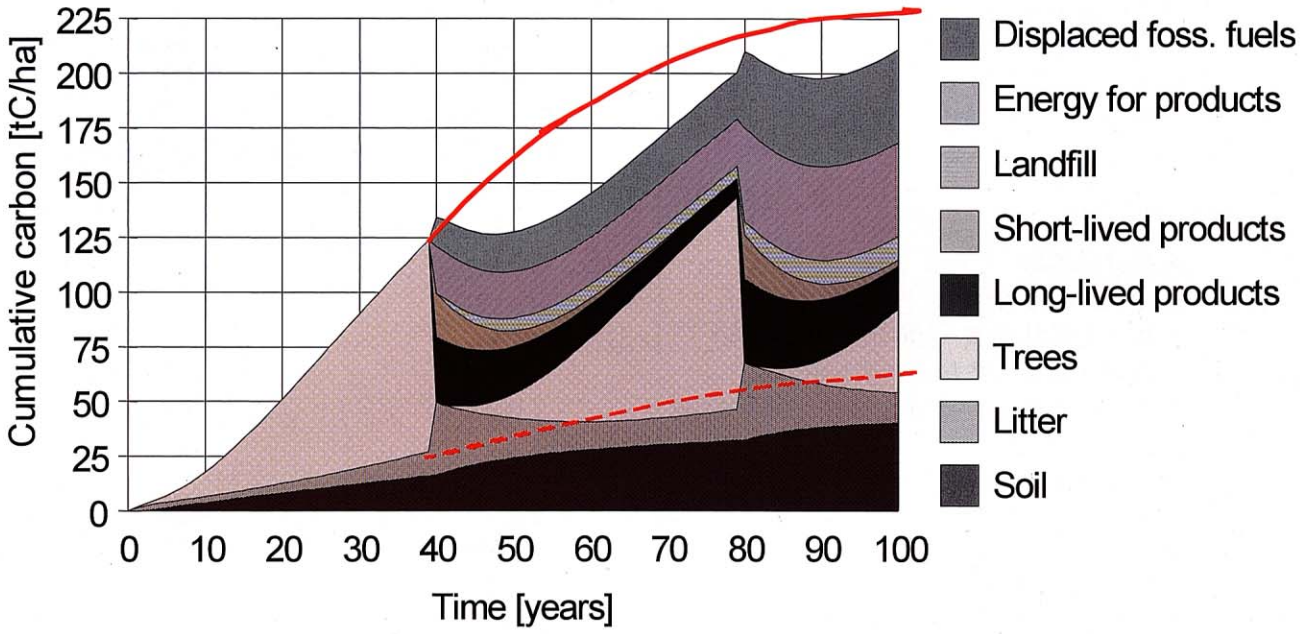
要約すれば、土地利用の遺産と森林の管理は林分の変換、景観、炭素シンクからソースへの地域を決定する推進力である。地域社会は彼らの森林地がより多くの炭素貯蔵をするよう管理することにより地球温暖化の地球規模の緩和に貢献することが出来る。

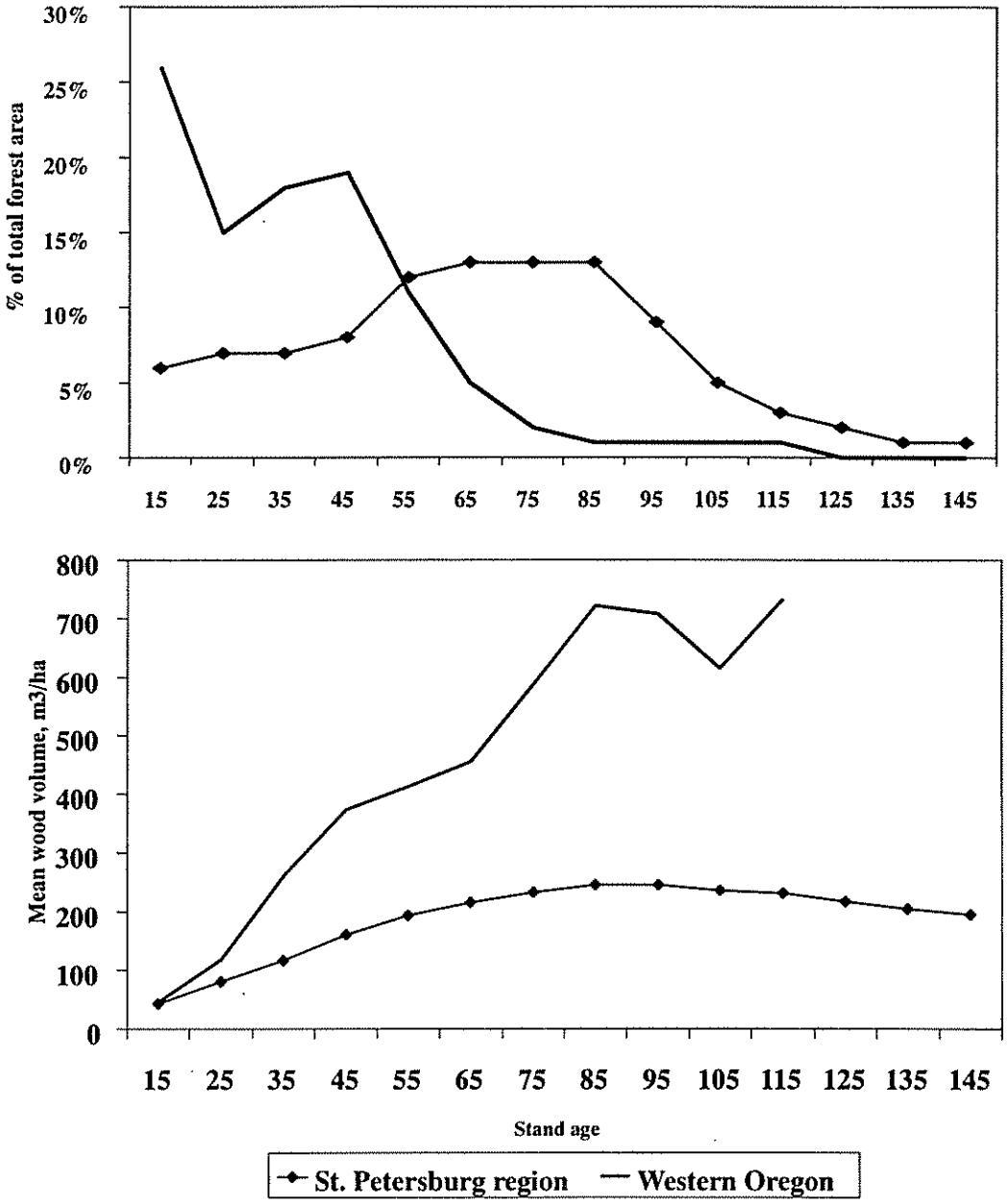
表 1.調査地域.

	太平洋西北 (オレゴン州西部)	*北西ロシア (サンクト・ペテルスブルグ地域)*
緯度(degrees)	45	59
高度の範囲 (メートル)	0 – 4400	0・250
年平均 t°(炭素)	2 – 10	3・4
年間降雨量 (センチメートル)	30 – 350	60-80
主な植生	湿った温帯針葉樹林	南部タイガ針葉樹林
総面積 (100 万ヘクタール)	7.6	8.5
生産森林地域 (100 万ヘクタール)	5.5	4.7
成林と老齢林地域 (100 万ヘクタール)	1.5	1.2
平均森林蓄積 (立方メートル/ha)	230	147
生きている森林バイオマス中の平均炭素蓄積 (MgC/ha)	121	55
木材伐採量 (100 万立方メートル)		
1988	23.39	6.08
1993	13.55	3.75
人口 1990 (百万)	2.3	6.7
木材輸出量 (伐採の%)	6	37
炭素収支見積もり in 1970's-1990's* (Tg C / year)	-0.4	+2.2

* 予備結果。生きている森林のバイオマス、崩壊堆積物、森林生産物、泥炭地を含む。

図表 1. 累積炭素蓄積の変化の大筋(scenario)。植林と伐採を含める。その変化を示しており、例えば図表は化石燃料と代替え物、同じ供給を提供するよりエネルギー集約的産物を使用する代替えの大筋に関して化石燃料の放出を抑えることを示している。(Marland and Schlamadinger, 1999 より) 赤色の“機会曲線(Opportunity Curve)”は木材伐採なしのシナリオでの炭素の蓄積を示す。





図表２．年令による森林域の配分（上図）と平均木材量（下図）の時間的順序は森林調査データによる。西オレゴンの州有でない森林地のデータ（1084の野外地区）1995—97は、PNW Research Station（西オレゴン調査局）の森林調査と分析プログラムにより収集された。合衆国の森林地は他の国家機関により調査が行われた(BLM and NFS)。サンクト・ペテルスブルグ地域の調査データはその地区内にある７つの異なった林分レベル(stand-level)の完全なデータベースである（全地域で216,000本を記録{stand records}。110万ヘクタールまたは地域の全森林域の24%; Krankina et al. in press)。森林地の大部分は近年、バイオマス蓄積のピークで(50年から90年の間)サンクト・ペテルスブルグ地区における森林バイオマスが増加していることを説明している(Kodak et al. 1999)。

Forest Ecosystems and Mitigation of Climate Change: Examples from Russia and USA

Dr. Olga N. Krankina
Oregon State University

The concentration of CO_2 in the atmosphere increased dramatically (from 275 ppm to 366 ppm) since the beginning of industrial revolution as a result of human activities. Current level of CO_2 in the atmosphere and the rate of its increase are greater than at any time in the last 420,000 years. It is likely that the observed changes in global climate over the last century are the consequences of this increase (Prentice et al. 2001). Fossil fuel combustion and land-use change are the two primary sources of CO_2 accumulation in the atmosphere. From 1850 to 1998, 270 ± 30 Gt C (carbon) were emitted from fossil fuel burning and cement production (Marland et al. 1999) while emissions from land-use change are estimated at 136 ± 55 Gt C (Houghton et al. 2000). Changes in land-use that lead to C emissions included deforestation (87% of emissions) and cultivation of grasslands (13%). Unlike fossil fuel reserves, natural ecosystems have a great capacity to recover their C stores and thus remove C from the atmosphere. The IPCC Third Assessment Report (2001) estimates the global potential of biological mitigation options at about 100 Gt C by 2050, most of it in forests. This is equivalent to about 10-20% of fossil fuel emissions during that period. Clearly these measures cannot solve the problem of global warming but they can be an important part of the mitigation strategy. Cost estimates for mitigation options in land-use and forestry vary widely from US$ 0.1 to US$ 100 per 1 ton of C. Protection of biodiversity, soils, and streams; flood and drought mitigation, landslide control, and availability renewable materials are common ancillary benefits of forestry-based mitigation projects. A key to making mitigation measures effective and sustainable is to integrate them with environmental, economic, and social goals of land use. Management decisions at national, regional, and local community level will determine the role of terrestrial ecosystems in mitigation of climate change. This paper examines carbon dynamics in forest ecosystems at different spatial scales and explains the biological basis of C sequestration in forests.

Forests ecosystems play an important role in the global C cycle. Forests store more C in their biomass and soils than the total C the atmosphere. The role of forests in C cycling is not limited to the functioning of live trees because soils, litter, dead trees, logging residues, forest products, and waste also play a significant part.

The exchange of C between plants and the atmosphere is very active. The annual uptake and release of C by green plants many times exceeds all emissions from fossil

fuel combustion. The process responsible for C uptake is photosynthesis and the organic matter produced by photosynthesis is called GPP (Gross Primary Production). At the global scale it is estimated at about 120 Gt C, nearly half of it released back into the atmosphere through plant respiration. The remaining part is known as NPP or Net Primary Production. This however is not a particularly good measure of net C uptake because plant material (both live biomass and litter) is consumed by microbes and animals and rather quickly returned to the atmosphere. What is retained is called NEP (Net Ecosystem Production). At the global scale it is estimated at about 10 Gt C – which is greater than 6.3 Gt released by fossil fuel combustion. If vegetation, mostly forests could permanently retain their NEP they would offset all fossil fuel emissions and there would be no problem of C accumulation in the atmosphere. However a large part of NEP is also returned into the atmosphere as forests are harvested, cleared for agriculture, killed by different kinds of disturbance: fire, flood, drought, wind, volcanic eruptions, and others on. After all these losses of carbon are subtracted, the remaining amount is so small that it is difficult to conclude with confidence if on balance the global forests are net sinks of C or not.

The general idea behind using forestry practices to mitigate climate change is to increase C uptake through photosynthesis and/or reduce C release. Both parts are equally important, and increase of C uptake alone is not very useful unless the material is retained long-term in live biomass or other C pools. In addition, it is not always necessary to increase C uptake by live vegetation to address the issue of C accumulation in the atmosphere. It may be just as effective to reduce emissions from the terrestrial ecosystem. Three biological approaches to curbing the increase of atmospheric CO_2 can be identified:

- conservation: conserving an existing C pool, thereby preventing emissions to the atmosphere;
- sequestration: increasing the size of existing carbon pools, thereby extracting CO_2 from the atmosphere; and
- substitution: substituting biological products for fossil fuels or energy-intensive products, thereby reducing CO_2 emissions.

There are advantages and disadvantages in each of these strategies. Conservation offers immediate benefits via prevented emissions. Sequestration impacts often follow an S-curve: accrual rates are often highest after an initial lag phase and then decline toward zero as C stocks approach a maximum. Substitution benefits often occur after an initial period of net emission, but these benefits can continue almost indefinitely into the future (Figure. 1). Clearly, the benefits of these strategies show contrasting temporal patterns and the strategies are interconnected. For example, conservation often provides additional sequestration, substitution requires plantations that sequester C, etc.

The effectiveness of various strategies for C sequestration depends on the initial status of the forest ecosystems. For lands without tree cover, afforestation permits large C gains per hectare and plantations can reduce the pressures to degrade natural forests thus providing C conservation as well. However, following the harvest of a mature or old-growth forest, the land can remain a source of carbon for many decades, even when it is replanted. Therefore, for primary and mature forests, conserving and protecting the existing C pools is often the only mitigation option that yields near-term benefits. The optimal mix of mitigation strategies will vary with country and region. For many countries, slowing or halting deforestation is a major opportunity for mitigation. The selection of mitigation strategies will be determined by economic development priorities, changing pressures on land use, and resource constraints in local communities.

Land-use history is among the most powerful forces that define the present and future role of forests in C cycling. When the issue of the C cycling emerged as a research priority several decades ago the effort to understand the role of forests focused largely on live plants and their eco-physiology. However, when comprehensive C budgets were developed, they showed that examination of live biomass alone, without consideration of other ecosystem components can lead to incorrect conclusions regarding the role of forests in C exchange. It also became clear that the direction of net C flow undergoes large fluctuations that occur on a wide range of time scales from hours to years, decades, and centuries and even longer. As a result forest landscapes represents a mosaic of C sources and sinks and mapping them on the face of the earth remains a major challenge. It is equally important to understand the driving forces that cause the transition of forest ecosystems from C sink to source and back.

Processes that define the direction of net C flow in forest ecosystems are different at different spatial scales. An individual tree the is generally a sink of C as long as it is alive, when it dies it becomes a source of C. At the scale of a forest stand tree death is not a binary process, rather this is a redistribution of material between the live biomass and the detrital pool. To determine the balance of C in a forest stand we have to consider the processes of tree growth, and mortality, the production of litter and its decomposition. While each individual dead tree is a source of C, a population of dead trees may act as a C sink when tree mortality exceeds C losses through decomposition. In terms of C storage, tree mortality is not necessarily a problem, because it is a flow of material that maintains a store of C in coarse woody debris. Furthermore, the presence of live trees alone does not necessarily mean that a forest stand is a sink of C. For example, many young forests that regenerate after harvest or natural disturbance inherit large quantities of detrital material from the previous generation of trees. C flux from decomposition of this material is often greater than C accumulation in young

trees and this keeps young forests in a phase of C source for many years, sometimes decades.

The role of a forest landscape in C exchange is defined by balancing C release by all those stands that are in the phase of source against C sequestration by forests that are in the sink phase. At the level of a region there will be several landscapes with their own disturbance histories. Because disturbance histories are shaped by social and historic forces, they are a major factor that defines the direction of C flux in a geographic region. In most economically developed regions, historic land-use resulted in large C losses from terrestrial systems. However these same processes created large forest areas that are currently in the phase of active C accumulation. A well documented net sink of C was reported in Eastern United States and historical changes in land-use were identified as the dominant factor governing the rate of C accumulation there (Caspersen et al. 2000).

To study the causes and consequences of land use change in dynamic socio-economic environments we compared C dynamics in two forest regions with contrasting land-use history and active ongoing changes in land management: Western Oregon, U.S.A. and St. Petersburg region in northwestern Russia. In both regions forests play a major role in land cover, in C stocks, and in regional economies as a source of timber and as a basis for recreation/tourism (Table 1). Both regions experienced dramatic declines in timber harvest during 1990's, however, the causes of these declines were very different: shift in forest policy and management paradigm on public lands in the Pacific Northwest (PNW) of the United States and transition from a centrally planned to market economy in Russia. These two situations are representative of a recent move towards ecosystem management on public lands in developed market economies on one hand and on the other hand, a profound macro-economic, institutional, and social transformation, which is common among economies in transition. Therefore, improved understanding of the effects of socio-economic changes on terrestrial C stores in our two study regions will apply to broader geographic areas.

Our study relies on integration of remote sensing technology with ground data for a comprehensive assessment of changes in regional carbon stores between 1970's and 1990's. A hierarchical set of models simulates changes in the living and the so-called "dead" part of the ecosystem (i.e., detritus and soils) as well as the C utilized by humans (i.e., lumber, paper). The two regions differ significantly in the distribution of C among different ecosystem components. In the PNW forest biomass and soils are the largest C pools, while in Northwestern Russia peat-lands contain nearly 70% of all the terrestrial C stores. Forest ecosystems in the PNW are much more productive than in the Northwestern Russia (Table 1, Figure 2), however between 1970's and 1990's forests of the PNW were close to equilibrium or a small source of C while forests of

Northwestern Russia were an active sink of C. This is because the PNW forests are just ending a long-term period of heavy timber harvest of primary forests, in which a significant amount of C has been released to the atmosphere (Harmon et al. 1990, Wallin et al. 1996, Cohen et al. in review). In contrast, timber harvests in Northwestern Russia were relatively low and in 1990's they declined sharply because of an economic crisis that occurred as the Russian economy was making a transition from socialist centrally planned economy to a market-based system. In addition, the pulse of forest regeneration between 1890's and 1940's was at the peak of C accumulation during 1970's-1990's (Figure 2, top) and this appears to be the main cause of net C accumulation in the region. Yet more C was sequestered by peatlands in the Northwestern Russia (estimated 0.2 Tg C/year).

The projected future role of the two study regions will likely reverse during the decade of 2000-2010: C stores in the PNW will increase as the level of timber harvest remains relatively low and young forests that originated following the peak harvests of 1980's transition from net source to net sink phase. In Northwestern Russia several social trends presently at work can potentially reverse the direction of net C flow: the ongoing institutional change, market pressures, advances in harvesting technology, and growing foreign investment in forest sector will likely result in expanding timber harvest while forest regeneration processes will be hampered by the lack of incentives to plant trees. This will likely transform the Northwestern Russia from an active C sink into a source of c to the atmosphere.

Forests in both regions can be used to sequester more C and thus to mitigate climate change. The specific management options will be selected by local forest managers and may include longer harvest rotations, promoting afforestation of marginal agricultural lands, enhancement of tree growth through various silvicultural practices, and retention of coarse woody debris in forests. Development of appropriate land-use policies and economic incentives for increased C stores is essential for these changes to materialize.

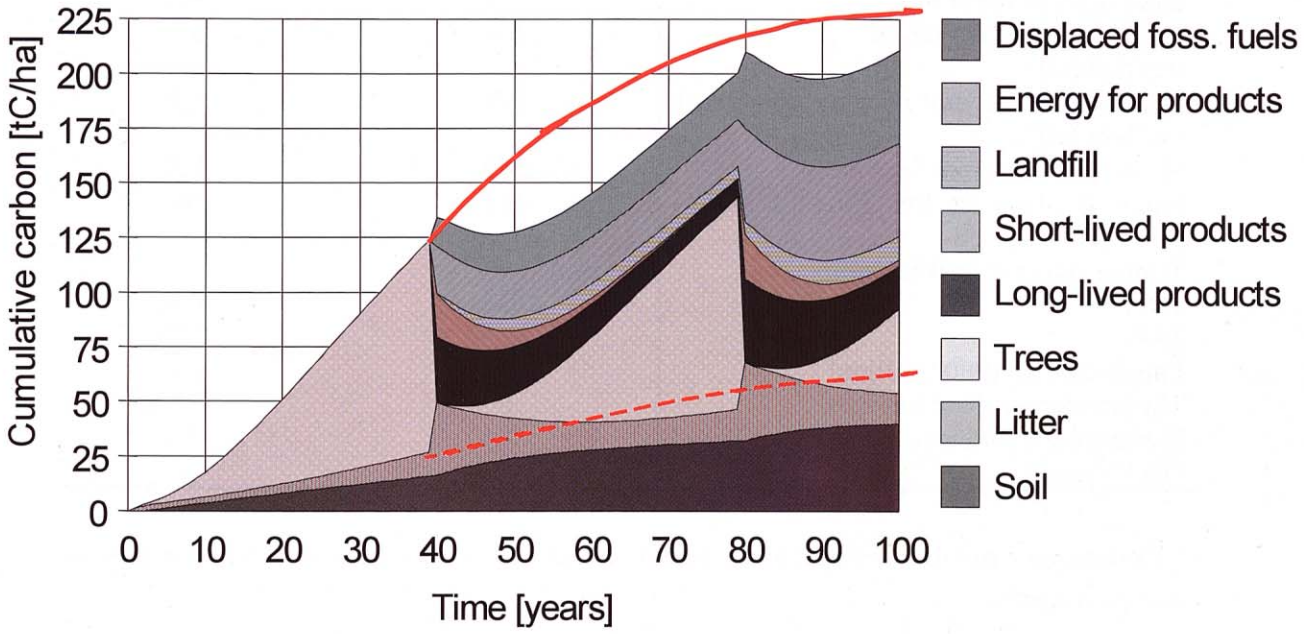
In summary, the legacy of land-use and forest management is a major driving force that determines the transition of forest stands, landscapes, and regions from C sinks to sources and back. Local communities can contribute to the global mitigation of climate change by managing their forest lands for greater C stores.

Table 1. Study Regions.

	Pacific Northwest (Western Oregon)	*Northwestern Russia (St. Petersburg region)*
Latitude (degrees)	45	59
Elevation range (m)	0 - 4400	0 - 250
Mean annual t ° (C)	2 - 10	3 - 4
Annual precip. (Cm)	30 - 350	60-80
Dominant vegetation	Moist temperate conifer forest	Southern taiga forest
Total area (million ha)	7.6	8.5
Area of productive forest (million ha)	5.5	4.7
Area of mature and overmature forest (million ha)	1.5	1.2
Mean growing stock (m3/ha)	230	147
Mean C store in live forest biomass (MgC/ha)	121	55
Timber harvest (million m3)		
1988	23.39	6.08
1993	13.55	3.75
Population in 1990 (million)	2.3	6.7
Timber export (% of harvest)	6	37
Estimated C balance in 1970's-1990's* (Tg C / year)	-0.4	+2.2

* Preliminary results. Include live forest biomass, coarse woody debris, forest products, and peatlands.

Figure 1. Cumulative carbon-stock changes for a scenario involving afforestation and harvest. These are net changes in that, for example, the diagram shows savings in fossil fuel emissions with respect to an alternate scenario that uses fossil fuels and alternative, more energy-intensive products to provide the same services. (adapted from Marland and Schlamadinger, 1999). "Opportunity curve" in red shows C accumulation for a scenario without timber harvest.



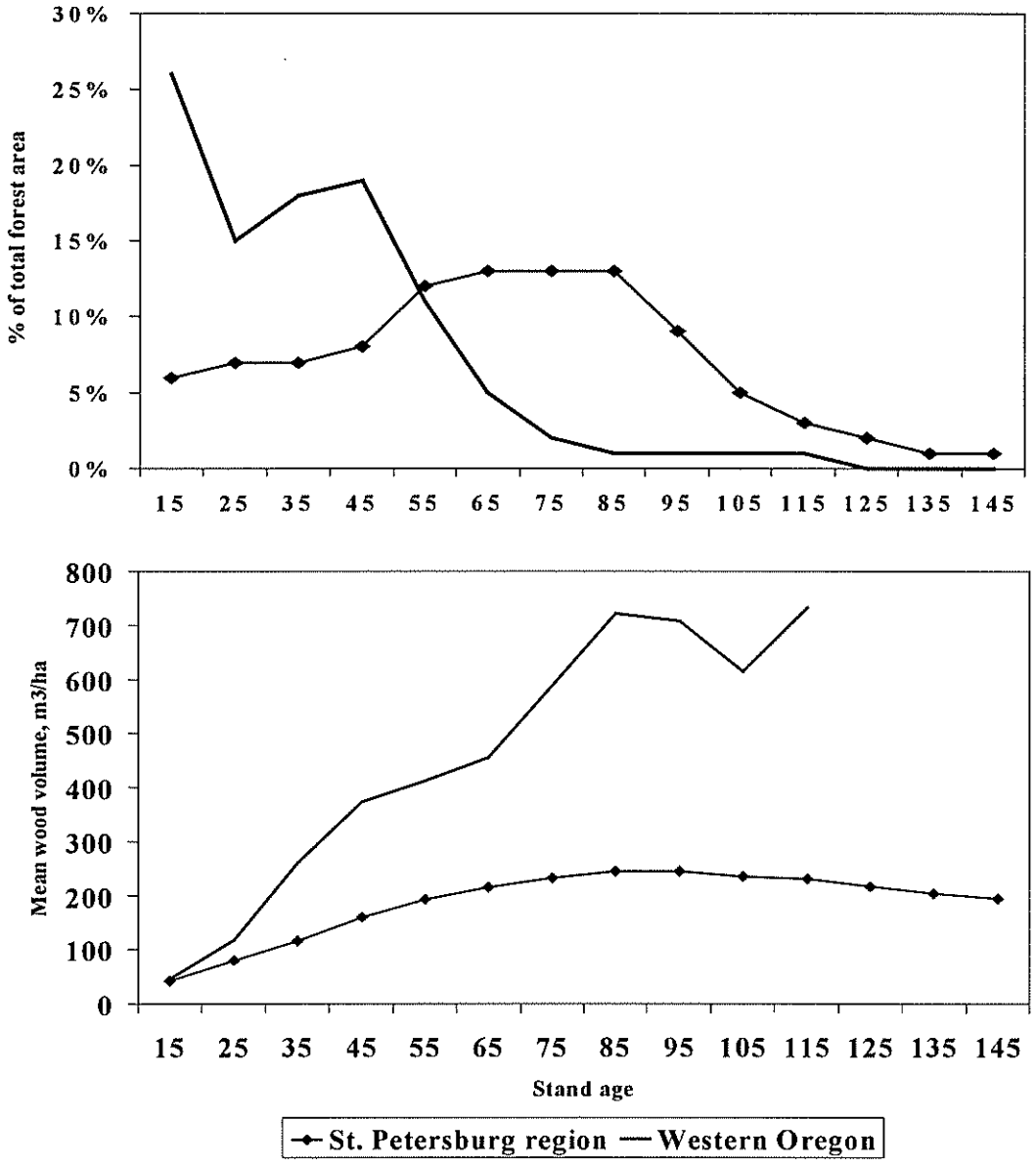


Figure 2. Distribution of forest area by age classes (top) and chronosequence of mean wood volume (bottom) derived from forest inventory data. Data for non-federal forest lands in Western Oregon (1084 field plots) were collected in 1995-97 by the Forest Inventory and Analysis program of the PNW Research Station. Federal timberlands are inventoried by other federal agencies (BLM and NFS). Inventory data for the St. Petersburg region is a complete stand-level database for 7 different forests within St. Petersburg region (216 thousand stand records, total area 1.1 million ha or 24% of the entire forest area in the region; Krankina et al. in press). A large proportion of forest lands currently at the peak of biomass accumulation (between ages 50 and 90) may explain the recent increase in forest biomass in St. Petersburg region (Kobak et al 1999).

Forest Ecosystems and Mitigation of Climate Change:
examples from Russia and USA

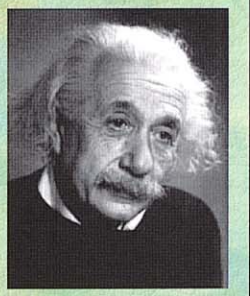
Dr. Olga N. Krankina
Oregon State University

Overview

- The role of forests in the global carbon cycle
  - Sink or source?
  - What factors determine the direction of net C flux between forests and the atmosphere?
  - The role of local communities and land-use history
- Regional carbon budgets for two major forest regions
  - Northwestern Russia and the Pacific Northwest of the USA

Everything should be made as simple as possible, but not simpler.

Albert Einstein

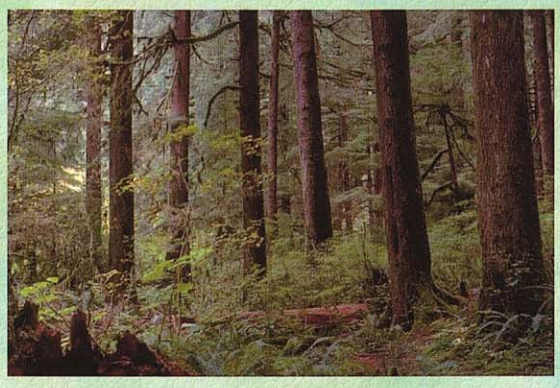


Sources of CO_2 accumulation in the atmosphere (1850-1998)

- 270 ± 30 Gt C from fossil fuel burning and cement production
- 136 ± 55 Gt C from land-use
  - Deforestation (87%)
  - Cultivation of grasslands (13%)

Net increase of C in the atmosphere **176 ±10 Gt C**

Potential for C sequestration in terrestrial ecosystems 100 Gt C by year 2050



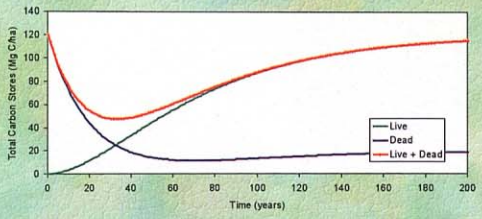


Fire and other disturbances convert forests into C sources



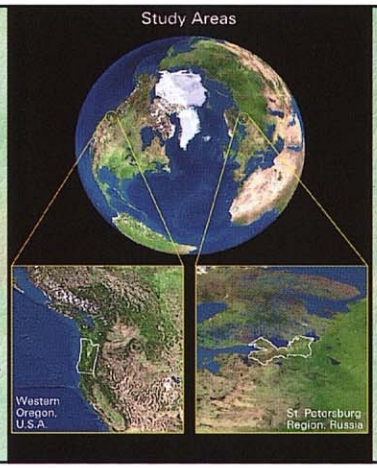


Changes in carbon stores following disturbance



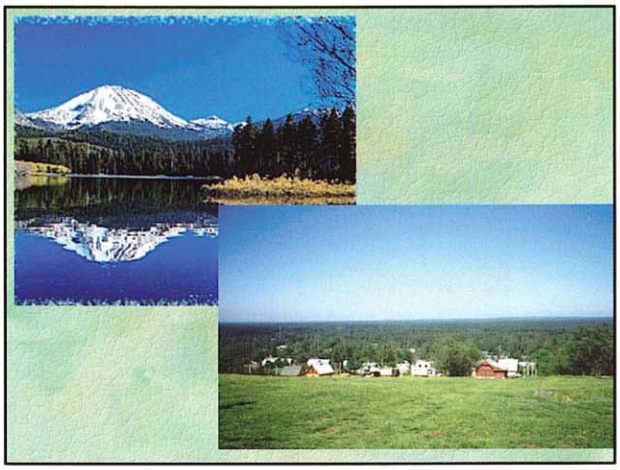


Study Areas

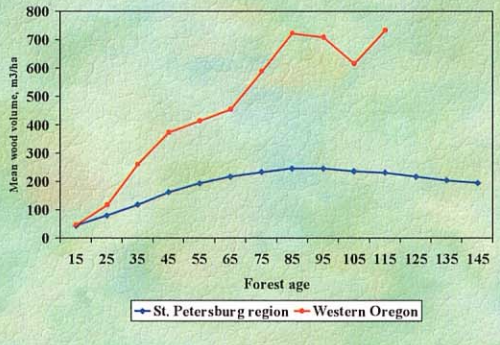


45°N
7.6 million ha

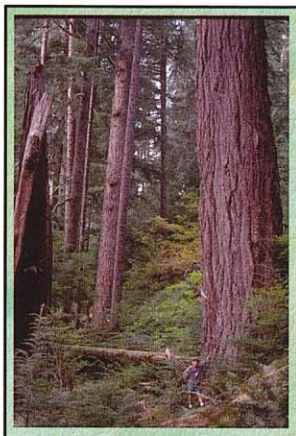
59°N
8.5 million ha



Wood volume in forest of different ages



12



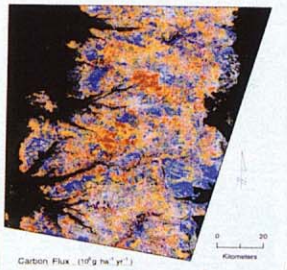
Old Douglas fir in the PNW

Scots Pine in NW Russia



Two Decades of Carbon Flux from Forests of the Pacific Northwest

Estimates from a new modeling strategy



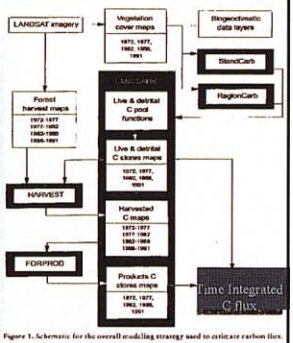
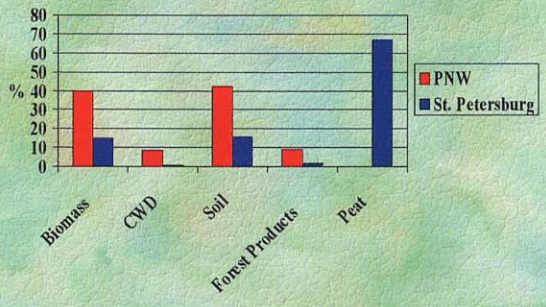
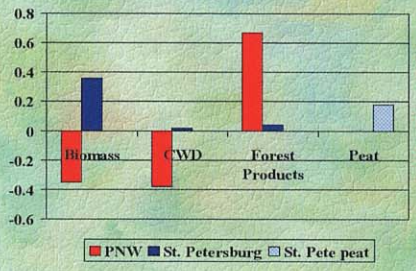


Figure 1. Schematic for the overall modeling strategy used to estimate carbon flux.

Composition of regional carbon stores



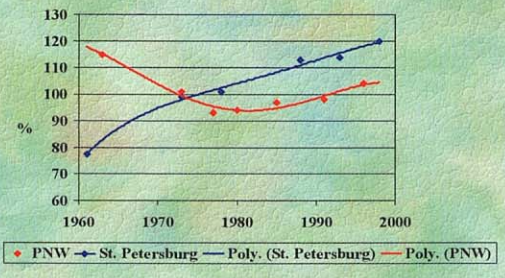
Net change in per hectare C stores on forest lands between 1970's and 1990's



PNW – small source of C: 0.58 Tg C per year

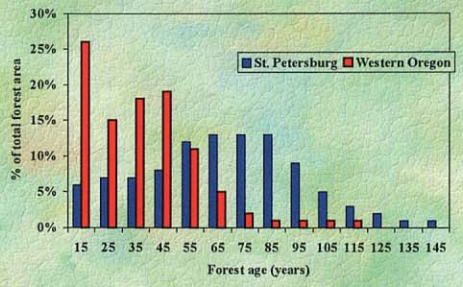
NW Russia – active sink: 2.15 Tg C per year

Changes in live forest biomass





Distribution of forest lands by age classes



Forest management for C mitigation

- Reduce timber harvests
- Afforestation of wastelands and marginal agricultural lands
- Increased forest productivity
- Protection from fire, insects and other natuaral disturbance
- Retention of dead trees in forests

Conclusions

- Forest management is a major factor that determines the transition of forest stands, landscapes, and regions from C sinks to sources and back.
- Local communities can contribute to the global mitigation of climate change by managing their forest lands for greater C stores.