

森林科学の未来を語る(その2)
気候変動と森林生態系の持続性

開催日時:平成28年7月27日(水) 13:30~17:00

開催場所:日本学術会議 講堂(東京都港区六本木7-22-34)

主催:日本学術会議 農学委員会林学分科会

共催:森林・木材・環境アカデミー、NPO法人才の木

開会挨拶 13:30~13:35

丹下 健(日本学術会議連携会員、東京大学大学院農学生命科学研究科 教授)

基調講演 13:35~14:20

気候変動が森林におよぼす生物関連リスクと適応策

中静 透(日本学術会議連携会員、東北大学大学院生命科学研究科 教授)

講演 14:20~16:00(14:50~15:00休憩)

極端気象と山地災害リスク

坪山良夫(国立研究開発法人 森林総合研究所 研究ディレクター)

日本の森林構成樹木に対するオゾンと土壌への窒素沈着の影響

伊豆田 猛(東京農工大学大学院農学研究院 教授)

気候変動に対応した森林資源管理の適応技術開発

重永英年(林野庁森林整備部研究指導課・首席研究企画官)

総合討論 16:10~16:50

モデレーター

竹中千里(日本学術会議連携会員、名古屋大学大学院生命農学研究科 教授)

コメンテーター

田中和博(日本学術会議連携会員、京都府立大学大学院生命環境科学研究科 教授)

閉会挨拶 16:50~17:00

川井秀一(日本学術会議会員、京都大学大学院総合生存学館 特定教授)

気候変動が森林におよぼす生物関連リスクと適応策

東北大学生命科学研究科 中静 透

気候変動が森林に与える影響は、気候条件の変化が樹木の分布などに直接影響する場合もあるが、さまざまな生物間相互作用を通じて影響する場合も多い。これまでの研究の多くは、潜在的な分布域の変化を予測するものが多かったが、具体的な適応策を考えるためには、変化のスピードやメカニズムを解明する必要があり、そこでは植物間、あるいは植物とほかの生物との相互作用の問題が重要になる。また、そうした変化は、生態系の変化にとどまらず、生態系サービスの変化として人間社会へフィードバックされるものもある。

日本の山地は大陸に比べてピーク標高が低いために、高山帯の分布する標高域も低い。低い標高域でも高山植物が分布するのは、多雪や強風といった冬の気候条件が効いているといわれ、気候変動による影響が大きいと言われている。ただし、分布モデルを作ってみるとほかの植物の植物高などが分布確率に大きく効いており、亜高山帯の植生などがどの程度で分布をシフトさせるかによって、高山帯への影響が大きく左右される。実際に過去約 30 年間の高木限界の上昇スピードを測定してみると、気温のみから推定されるスピードより、実際の変化はかなり遅い。

樹木とほかの生物との相互作用(被食、送粉、種子散布など)は、森林全体にも大きな影響を与える。一般には樹木の移動スピードは遅いが、こうした相互作用の相手となる動物には飛翔能力を持つものも多く、かなり早いスピードで移動できる場合も多いため、こうした相互作用に齟齬が生ずる可能性がある。マツ枯れ、ナラ枯れなどの樹木の病気は、病原生物を運ぶ昆虫の移動速度が速いが、昆虫の生活史を決定する温度条件によってその影響の拡大範囲が決まると考えられている。現在、その分布限界まで急速に広がりつつあるが、温暖化によってその範囲が拡大する可能性がある。

タケ類は人間による管理が低下することで分布が拡大し、農地への侵入、斜面崩壊などのディスプレイを引き起こすことが問題となっている。その分布は温度条件の影響が大きいですが、最近 30 年間でも気候変動により分布可能域が拡大している。現在西日本で顕在化している問題が、今後東北地方でも拡大する可能性がある。また、シカの個体数増加にともなうディスプレイも問題となっているが、積雪環境の変化がそれを助長している可能性がある。しかし、気候変動が与える生態系サービスへの影響は、研究としてもまだ多くない。

生態系への適応策として考えると、森林生態系そのものの変化に対する対策も必要であるが、ほかの分野の適応策(たとえば人工構造物による適応)が生態系に影響を及ぼす場合があり、それを避けることも必要になる。一方で、生態系を利用した適応策(Ecosystem based Adaptation, EbA)も、近年注目されている。こうした問題を考えると、空間解像度の高い気候変動予測、社会経済的シナリオと気候変動シナリオの統合、影響のモニタリング、相互作用も含めたプロセスモデル、不確実性の評価などが研究として大きな課題である。

極端気象と山地災害リスク

国立研究開発法人森林総合研究所 坪山良夫

はじめに

記録的な強雨や大雨が毎年のように発生し、平成 25 年 10 月の伊豆大島の台風 26 号災害、平成 26 年 8 月の広島市の局地的豪雨災害、平成 27 年 9 月の関東・東北豪雨等、激甚な災害が続いている。過去 39 年間(1976 年～2014 年)において、1 時間降水量 80 ミリ以上の短時間強雨や日降水量 400 ミリ以上の大雨の年間観測回数は増加傾向を示している 1)。一方、将来(2080 年～2100 年)については、大雨による降水量は増加傾向になるとの予測がある 2)。降水現象の極端化にともなう災害の激甚化は、現在気候下でのさしめまった問題であると同時に、将来的な気候変動への適応という面でも重要な課題である。

降水現象の極端化が山地災害にもたらす影響

斜面崩壊や土石流の起きやすさは、地質、地形、土壌、植生等、それぞれの場所に固有の素因(地盤条件や地被条件)の影響を受け、直接的には降雨や融雪を誘因として発生する。気候変動による気温や降水量の変化は、風化や植生の変化を通じて素因に影響を及ぼす可能性がある。一方、誘因としての短時間強雨や大雨の増加は、災害の発生頻度の増加(分布域の拡大、同時多発的化、未発生地域での発生)、発生タイミングの変化(降り始めから発生までの時間の短縮)、規模の拡大(深層崩壊の発生頻度の増加、土石流等の到達範囲の拡大)に繋がると考えられている 3)。

日本の森林は、過剰な伐採等による荒廃からの復旧が進み、資源としての成熟段階に移行しつつある。森林の高齢級化が進む中、短時間強雨など極端な現象の影響もあり、成熟した壮齢林でも崩壊や土石流が発生するようになり、崩土とともに流下する立木による被害の増大が課題となっている 4)。また、谷頭の崩壊を発生源とする土石流のみならず、溪床や溪岸を侵食しながら流下土砂量が増大するタイプの土石流が発生している 4)。

山地災害リスクの低減に向けて

山地災害への備えは、危険性の高い(あるいは高くなる可能性のある)箇所を把握し、そこに、根系の土壌緊縛力等生態系としての森林が持つ防災・減災効果と治山施設の機能を組み合わせた対策を施すことが出発点となる。発生危険地の予測精度の向上には、山地災害の発生状況や発生形態と各種素因との関係解明が欠かせない。また、災害リスクを減らすには監視技術の高度化や避難誘導體制の整備等のソフト対策も重要である。さらに、将来的な気候変動への適応という点では、森林の防災・減災機能の長期的な変動予測が必要である。

近年、森林を通過する津波、雪崩あるいは土石流の動き、さらには風害や冠雪害等の気象害について、森林と周辺環境との力学的な相互作用(Eco-mechanics)を解き明かし、森林の減勢効果や被災リスクの評価を目指す研究が進みつつある。気候変動の影響は、高潮・高波や強風にも及ぶと予測されている 3)。気

候変動への適応策として森林の機能を活かすための科学的な基盤としても、今後の進展が期待かつ必要とされる研究分野である。

おわりに

災害の脅威への備えが社会の重要課題となり、災害復興や国土強靱化のための手法として、生態系を基盤とした災害リスクの低減(Ecosystem-based Disaster Risk Reduction, Eco-DRR)が注目されている5)。森林の防災・減災機能の活用はまさに Eco-DRR のひとつといえるが、大規模な災害外力に対しては限界もある。また、山地災害のリスクは、斜面崩壊や土石流の発生頻度や規模とともに、その影響を受ける人や社会の曝露の程度や脆弱性との相互作用により決まる6)。気候変動にともなう様々な影響の程度や発現時期の予測には不確実性がある一方で、曝露や脆弱性は社会のあり方によっても変わるため、反復的なリスク管理と順応的なアプローチが重要である。

引用文献

- 1) 気象庁(2015)気候変動監視レポート2014.
- 2) 気象庁・環境省(2014)日本国内における気候変動予測の不確実性を考慮した結果について(お知らせ).
- 3) 中央環境審議会(2015)日本における気候変動による影響に関する評価報告書.
- 4) 山地災害対策に関する検討委員会(2015)今後の山地災害対策の強化に向けて(中間とりまとめ).
- 5) 日本学術会議(2014)復興・国土強靱化における生態系インフラストラクチャー活用のすすめ(提言).
- 6) 環境省(2014)IPCC 第5次評価報告書の概要－第2作業部会(影響、適応、及び脆弱性)－.

日本の森林構成樹木に対するオゾンと土壌への窒素沈着の影響

東京農工大学大学院農学研究院 伊豆田 猛

1. はじめに

地球レベルの気候変動は、森林生態系の持続性を脅かすことが懸念されている。森林を構成する樹木の物質生産は、今後の大気環境や土壌環境の変化によって様々な影響を受ける可能性がある。近年、アジアにおいては、光化学オキシダントの主成分であるオゾン(O₃)の濃度や大気からの地表面への窒素沈着量が増加しているため、森林生態系やそれを構成する樹木の乾物成長、光合成などの生理機能および栄養状態などに悪影響を及ぼすことが懸念されている。そこで、本講演では、日本の森林を構成する樹木に対するオゾンと土壌への窒素沈着の影響を紹介する(伊豆田, 2016)。

2. 樹木に対するオゾンの影響

近年、日本の各地において森林の衰退や樹木の枯損が観察されており、その原因のひとつとしてオゾンが指摘されている。大気中のオゾンは気孔を介して葉内に侵入し、樹木の光合成能力や乾物成長を低下させる。演者らは、気孔を介した葉のオゾン吸収量に基づいた樹木に対するオゾンの影響評価に関する研究を行った(平成23~25年度環境省環境研究総合推進費)。日本の代表的な落葉広葉樹であるブナ、コナラ、ミズナラおよびシラカンバの苗木をオゾン暴露チャンバー内で育成し、気孔を介した葉のオゾン吸収速度の推定法を開発し(Azuchi et al., 2014; Kinose et al., 2014)、葉のオゾン吸収量に基づいて葉の積算純光合成量(積算CO₂吸収量)に対するオゾンの影響を評価した。4樹種の葉の積算オゾン吸収量と積算純光合成量の相対値(オゾン区の積算純光合成量/浄化空気区の積算純光合成量)との関係(図1)に基づいて、日本に分布するこれら4樹種の積算純光合成量に対するオゾンの影響に関する現状評価を行った。その結果、現状のオゾンによるブナ、コナラ、ミズナラおよびシラカンバの葉の積算純光合成量の年平均低下率は、それぞれ11.3%, 3.8%, 8.5%および11.5%であった。これらの結果は、現状のオゾンによって日本の森林におけるCO₂削減能力が低下していることを示唆している。

3. 樹木に対する土壌への窒素沈着の影響

近年、大気からの地表面への窒素沈着量は増加傾向にあり、森林生態系における窒素飽和やそれに伴う悪影響が懸念されている。日本の森林を構成する樹木に対する土壌への窒素沈着の影響を明らかにするために、硝酸アンモニウム溶液で窒素負荷を行なった褐色森林土でアカマツとスギの苗木を育成した(Nakaji et al., 2001; Nakaji et al., 2002)。その結果、乾物成長と栄養状態に対する土壌への窒素負荷の影響には樹種間差異が認められ、土壌への過剰な窒素負荷によってアカマツ苗の乾物成長は低下したが、スギ苗のそれは低下しなかった。アカマツ苗の純光合成速度(A_{350})、量子収率(QY)、CO₂固定効率(CE)および最大純光合成速度(A_{max})は土壌への窒素負荷量の増加に伴って有意に低下した。アカマツ苗の針葉のクロロフィル濃度と RuBP カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ(Rubisco)の濃度と活性は、土壌へ

の窒素負荷量の増加に伴って有意に低下した。土壌への窒素負荷量の増加に伴ってアカマツ苗の針葉の Mg および P 濃度は低下したため、これらの元素濃度の低下がクロロフィル濃度や Rubisco 濃度の低下を引き起こしたと考えられる。 A_{max} はカルビン-ベンソン回路における RuBP 再生速度を反映し、葉内における P 濃度によって律速されるため、土壌への窒素負荷によるアカマツ苗の A_{max} 低下には針葉の P 濃度の低下が関係していたと考えられる。土壌への窒素負荷量の増加に伴って、アカマツ苗の針葉の Mg/Mn 濃度比が低下し、それに伴って Rubisco 活性が低下した。Rubisco は Mg^{2+} と結合して活性型になる。土壌への窒素負荷によってアカマツ苗の Rubisco 活性が低下した原因として、窒素負荷に伴う土壌酸性化によって土壌溶液や針葉における Mn 濃度が上昇し、 Mn^{2+} が Rubisco と結合して不活性型になったことが考えられる。今後、日本の森林生態系において大気からの窒素沈着量が増加した場合、アカマツのような樹木の光合成能力や乾物成長が低下し、日本の森林における CO_2 削減能力が低下する可能性がある。

引用文献

- Azuchi, F., Kinose, Y., Matsumura, T., Kanomata, T., Uehara, Y., Kobayashi, A., Yamaguchi, M. and Izuta, T. (2014) Modeling stomatal conductance and ozone uptake of *Fagus crenata* grown under different nitrogen loads. *Environmental Pollution*, 184, 481-487.
- 伊豆田 猛 (2016) 植物に対するオゾン、酸性降下物およびエアロゾルの影響に関する研究. *大気環境学会誌*, 51, 85-96.
- Kinose, Y., Azuchi, F., Uehara, Y., Kanomata, T., Kobayashi, A., Yamaguchi, M. and Izuta, T. (2014) Modeling of stomatal conductance to estimate stomatal ozone uptake by *Fagus crenata*, *Quercus serrata*, *Quercus mongolica* var. *crispula* and *Betula platyphylla*. *Environmental Pollution*, 194, 235-245.
- Nakaji, T., Fukami, M., Dokiya, Y. and Izuta, T. (2001) Effects of high nitrogen load on growth, photosynthesis and nutrient status of *Cryptomeria japonica* and *Pinus densiflora* seedlings. *Trees (Structure and Function)*, 15, 453-461.
- Nakaji, T., Takenaga, S., Kuroha, M. and Izuta, T. (2002) Photosynthetic response of *Pinus densiflora* seedlings to high nitrogen load. *Environmental Sciences*, 9, 269-282.

気候変動に対応した森林資源管理の適応技術開発

林野庁研究指導課 重永英年

1. 「適応」の取組の必要性

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書では、気候システムの温暖化には疑う余地がなく、1950年代以降に観測された変化の多くは前例のないものであること、ここ数十年、気候変動は自然及び人間システムに影響を与えていること、更なる温暖化により深刻で広範囲にわたる不可逆な影響が生じる可能性が高まることを指摘している。「適応」とは、このような気候変動の影響に対し、自然・人間システムを調整することにより被害を防止・軽減、あるいはその便益の機会を活用することであり、温室効果ガスの排出抑制や二酸化炭素吸収量を増加させる「緩和」とともに、気候変動のリスクを低減するための戦略として位置づけられている。

気候変動の影響を受けやすい農林水産分野では「適応」の取組は極めて重要で、将来の影響予測等を踏まえて、技術開発や施策の転換などを計画的に進める必要がある。我が国の森林・林業施策の基本方針を定めた「森林・林業基本計画」(平成28年5月策定)においても、森林の適切な整備等による二酸化炭素の吸収量確保、木材及び木質バイオマスの利用による炭素の貯蔵及び二酸化炭素の排出削減の取組とともに、適応策の推進が明記されている。

2. 気候変動適応計画

農林水産省では、平成26年4月に気候変動適応計画推進本部を設置して適応に関する検討を進め、平成27年8月に「農林水産省気候変動適応計画」を策定した。本計画は、中央環境審議会が平成27年3月に取りまとめた「日本における気候変動による影響の評価に関する報告と今後の課題について(意見具申)」と関連し、平成27年11月に閣議決定された政府全体の適応計画「気候変動の影響への適応計画」にも位置づけられている。本計画では、基本的な考え方として、1.現状と将来の影響評価を踏まえた計画策定、2.温暖化等の気候変動による影響への対応、3.極端な気象現象による災害への対応・防災、4.気候変動がもたらす機会の活用、5.関係者間での連携・役割分担、情報共有、6.計画の継続的な見直し、最適化による取組の6項目が示された。また、分野・品目別や分野共通で、影響の現状や将来予測とともに、当面10年程度に必要な取組が整理された。森林・林業関連では、山地災害、治山・林道施設、人工林、天然林、病虫害、鳥獣害等について、以下のような内容が記されている。

山地災害については、降雨条件が厳しくなるという前提の下では、集中的な崩壊・土石流等が頻発し、山地や斜面周辺地域の社会生活に与える影響が増大することが予測される。森林の有する水源涵養、災害防備等の公益的機能を高度に発揮させるため、保安林配備の計画的推進、治山施設の整備や森林整備の推進等を実施しており、これらの取組に加え、山地災害が発生する危険性の高い地区のよりの確な把握、伐採・開発等に対する一定の規制措置等により、土砂崩壊・流出防止機能の向上を図る。人工林については、降水量の少ない地域でスギの生育が不適となる地域が増加する可能性が報告されている。主要

造林樹種について、産地が異なる種苗の植栽試験による環境適応性の評価、気候変動が成長等に与える影響評価、高温・乾燥ストレスに等に適応した品種開発に着手する。天然林については、落葉広葉樹が常緑広葉樹に置き換わった可能性が高い箇所があり、分布領域の変化も予想されている。国有林野では、「保護林」や「緑の回廊」を設定しており、継続的なモニタリング調査等を通じて状況を的確に把握し、適切な保全・管理を推進する。病害虫については、他の要因も含めた慎重な検証が必要であるが、気温上昇や降水量の減少により被害地域が拡大している可能性が報告されている。森林病害虫のまん延を防止するには、森林病害虫防除法に基づいた防除を継続して行うとともに、森林被害のモニタリングの継続や病害虫に対してより強い抵抗性を有する品種の開発等を進める。気候変動と被害との直接の因果関係は明らかではないが、野生鳥獣の分布拡大による造林木の被害が報告されており、被害防止のための防護策設置や効率的な捕獲技術の開発・実証に取り組んでいる。今後は、捕獲・被害対策技術の高度化等に引き続き取り組むとともに、生息状況に関する情報把握や被害のモニタリングを継続する。

4. プロジェクトによる研究開発の推進

「農林水産研究基本計画」は、今後10年程度を見通して取り組むべき研究開発の重点目標及び推進施策を定めるもので、平成27年3月に決定された計画では、「気候変動に対応した農林水産業適応技術の開発」を中長期的な戦略の下で着実に推進すべき研究開発としている。本計画や適応計画に基づき、農林水産省自らが企画・立案するプロジェクト研究において、森林の土砂崩壊・流出防止機能を的確に予測し、防災機能を効率的に発揮させるための森林管理技術を開発する「山地災害リスクを低減する技術の開発」、気候変動がスギ人工林に及ぼす影響を全国的に評価し、木材生産への影響が大きい地域を抽出する「人工林に係わる気候変動等影響評価」、高温や乾燥に強く、成長に優れた花粉発生源対策となるスギの育種素材の作出を目指す「気候変動に適応した花粉発生源対策スギの作出技術開発」、気候変動による環境変化を考慮しつつ、ニホンジカ、イノシシの将来分布及び被害を予測する「野生鳥獣拡大に係る気候変動等の影響評価」等の課題が、平成28年度から5年間の期間で開始された。

5. 適応技術開発の課題

樹木個体は環境に対して順化する能力を持つことに加え、環境に対する応答は生育段階によって変化する。また、樹木の応答は他の生物と相互に影響し、森林の機能に影響を及ぼす。適応技術の開発には影響評価が前提となるが、個体の寿命や栽培期間が数十年以上と長い樹木や森林全体に対して、中～長期的に徐々に進む気候変化の影響を、緻密に予測することは容易ではない。確度は低くても大まかな影響を評価し、影響が重大であると考えられるものについては、モニタリングやダウンスケーリング等を通じて予測を高度化し、適応に関する技術開発を重点的に進めることが必要であろう。また、影響評価に関して多くの不確実性がある中で、適応策が最終的に目指すものが「柔軟な対応力のあるシステムの構築」にあるのであれば、人工林、天然林も含めて多様な林分を維持・管理していくことが重要であるかもしれない。