

(案)

報告

持続可能な林業・林産業の構築に向けた 課題と対策



平成29年（2017年）〇月〇日

日本学術会議

農学委員会

林学分科会

この報告は、日本学術会議農学委員会林学分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議農学委員会林学分科会

委員長	川井 秀一	(第二部会員)	京都大学大学院総合生存学館(思修館)・特定教授
副委員長	鈴木 雅一	(連携会員)	東京大学名誉教授
幹事	鈴木 滋彦	(連携会員)	静岡大学大学院農学研究科教授・副学長
幹事	竹中 千里	(連携会員)	名古屋大学大学院生命農学研究科教授
	有馬 孝禮	(連携会員)	東京大学名誉教授
	池邊 このみ	(連携会員)	千葉大学大学院園芸学研究科教授
	田中 和博	(連携会員)	京都府立大学大学院生命環境科学研究科教授・副学長
	丹下 健	(連携会員)	東京大学大学院農学生命科学研究科長・教授
	飯塚 堯介	(連携会員)	東京大学名誉教授

報告書の作成にあたり、以下の方に御協力いただきました。

高野 勉 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所・研究情報科長

本件の作成にあたっては、以下の職員が事務を担当した。

事務局	中澤 貴生	参事官(審議第一担当)(平成27年3月まで)
	井上 示恩	参事官(審議第一担当)(平成29年3月まで)
	西澤 立志	参事官(審議第一担当)(平成29年4月から)
	渡邊 浩充	参事官(審議第一担当)付参事官補佐(平成28年12月まで)
	齋藤 實寿	参事官(審議第一担当)付参事官補佐(平成29年1月から)
	藤本紀代美	参事官(審議第一担当)付審議専門職(平成27年3月まで)
	加藤 真二	参事官(審議第一担当)付審議専門職(平成28年4月まで)
	山石 あや	参事官(審議第一担当)付審議専門職(平成28年5月から)

要 旨

1 作成の背景

森林は国土の3分の2を占め、生態系の中心を成しているとともに、森林が有する公益的な機能は、木材生産機能とならんで、地域社会の生活や経済と密接に結びついている。しかし、この四半世紀以上にわたって、日本の大半の森林は適切に管理されていない。加えて、近年は、地球温暖化¹によるとみられる森林の衰退や、集中豪雨等の多発による山地災害の発生も増加しており、森林生態系そのものが深刻な影響を受け始めているので、気候変動²への森林の適応策³についても戦略的に推進すべき状況になっている。

本報告は、日本の森林の現状について報告するとともに、森林管理及び林業・林産業の活性化の方策と基盤整備に向けて早急に解決すべき課題とその対策について取りまとめたものである。

2 現状及び問題点

日本には、スギ、ヒノキ等の人工林が約1,000万haもあり、国土の約27%を占めている。人工林の半分以上が50年生以上となり、現在では、森林資源として十分に成熟しているものの[1]、なかなか利用できていない。その理由は、国産材価格の長期低迷により、林業が産業として成り立ちにくくなっているためである。その結果、林業経営的な条件が悪いところでは管理が不十分になり、間伐⁵の遅れによる下層植生の消失と土壌の流亡によって水土保持機能等の森林の公益的機能が低下し続けている。さらに、ニホンジカによる食害も年々深刻になってきており、伐採後に再造林を行うには防鹿柵の設置など余分なコストが必要となるので、ますます林業経営がためられる事態になっている。

3 報告の内容

(1) 気候変動環境下における森林の現状と課題及びその対策

地球温暖化は、樹木の物質生産や繁殖、分布域などへ直接的な影響を及ぼしているだけでなく、生物間相互作用を通して病虫獣害の発生にも関連している。雪の降り方の変化も樹木への雪害を招くだけでなく、例えば、積雪深の変化は森林生態系における種間競争やニホンジカの分布域にも影響を及ぼしている。また、台風の巨大化や集中豪雨などの異常気象は風害や斜面崩壊、山地災害、土砂災害などの誘因にもなっている。対流圏におけるオゾン濃度の増加も樹木の光合成能力や成長を低下させており、樹木の衰退の一因である可能性がある。以上のとおり、森林生態系そのものが気候変動による深刻な影響を受けるようになったことから、2015年8月には「農林水産省気候変動適応計画」が策定され、適応策が推進されつつある。

(2) 国内林業の現状及び森林情報解析技術の進展

過疎化、高齢化などにより、もはや森林所有者が自力で林業の活性化を推進する余力はないことから、都市住民との連携した取り組みや林産業をはじめとする関連産業の支

援が必要である。林野庁が 2009 年 12 月に発表した「森林・林業再生プラン」[2]に従って、林道・作業道の整備、森林施業の集約化などが進められているが、最近では、航空レーザー測量による森林モニタリング技術が急速に普及し始めており、伐採・搬出計画の作成、林業・作業道計画の作成などに応用されている。地況や林況にあわせた精密な森林管理も可能になりつつある。

(3) 木質バイオマス利用の現状と課題及びその対策

再生可能資源を対象とした固定価格買取制度⁶（Feed-in Tariff：FIT）の導入によるバイオマスエネルギー利用が進められている。材料としての利用については、公共建築物等における木材の利用促進、耐火集成材⁷の開発、直交集成板⁸（Cross Laminated Timber：CLT）を用いた木造高層建築物の建設等の新たな動きがある。高度利用としては、セルロースナノファイバー（CNF）、改質リグニン、木材・プラスチック複合材（WPC）等の利活用技術の開発がある。そのため、森林・林業と木材加工産業との協働による、木質バイオマスの供給から利用までの一貫した技術開発が必要とされている。

(4) 福島原発事故による放射能汚染に係わる森林・木材・木材関連産業への影響

2012 年以降、林床に降下した放射性セシウムの大部分は鉍質土層（0～5 cm）によって捕捉されており、この傾向が長期にわたって続くことが予想されている。森林から溪流を通じて流出する放射性セシウムの流出率は今のところ極めて小さい。樹皮の放射性セシウム濃度が比較的高いため、製材の際に樹皮の処理が問題となっており、また、汚染された広葉樹材をキノコ原木として利用することは困難である。

(5) 高度情報化時代における森林管理及び林業・木材業の連携による地方創生

森林生態系に関する適応策を展開していくには、まず、森林モニタリングシステムを確立し、次に、そのデータに基づいて、森林生態系の中で起きている生物間相互作用のメカニズムを解明し、将来の姿を精度良く予測することが基本となる。そのためには、航空レーザー測量等によって得られた森林データを、利用しやすいように加工して「見える化」するとともに、オープンサイエンスデータとして公開する必要がある。

林業や木材業における新たな動きを地方創生に結びつけていくためには、それぞれの地域において持続的に利用できる木質資源量を把握しておかねばならない。航空レーザー測量などのデータの解析技術が実用段階に入ってきており、エビデンスに基づく精密森林管理も技術的には可能になってきた。ICT を活用した森林クラウドによる情報の共有化は、林業と木材業との新たな連携の構築にもつながることから、地方創生に向けた取り組みとしても期待されている。

目 次

1	はじめに.....	1
2	気候変動環境下における森林の現状と課題及びその対策.....	3
(1)	地球サミット以後の経緯.....	3
(2)	オゾン並びに酸性降下物の日本の樹木に対する影響の現状.....	4
(3)	気候変動が森林に及ぼす生物関連リスクの現状及びその適応策に向けての課題	4
(4)	極端気象と山地災害リスクの現状及び解決に向けた課題.....	5
(5)	気候変動に対応した森林資源管理の適応技術開発.....	6
3	国内林業の現状と課題及び森林情報解析技術の進展.....	7
(1)	国内林業の実態は道端林業.....	7
(2)	森林管理の視点による新たな森林区分の必要性.....	7
(3)	森林政策の現状：森林・林業再生プラン[2]と市町村森林整備計画.....	8
(4)	森林 GIS 解析による利用可能な森林資源量の推定事例.....	9
(5)	レーザー計測等に基づく森林情報解析技術の進展.....	9
4	木質バイオマス利用の現状と課題及びその対策.....	11
(1)	エネルギー利用の現状と課題及びその対策.....	11
(2)	用材としての利用の現状及び課題.....	12
(3)	耐火集成材の開発.....	13
(4)	国産材を用いた直交集成板（CLT）の技術開発.....	13
(5)	高度利用と研究開発.....	14
5	福島原発事故による放射能汚染に係わる森林・木材・木材関連産業への影響（その後）	16
(1)	経緯.....	16
(2)	森林生態系における放射性物質の現状と動態.....	16
(3)	林業、木材関連産業への影響.....	18
6	高度情報化時代における森林管理及び林業・木材業の連携による地方創生.....	19
(1)	研究用森林情報の公開と共有化の必要性.....	19
(2)	森林資源の持続的な循環サイクルの形成による地方創生.....	19
	＜用語の説明＞.....	21
	＜参考文献＞.....	25
	＜参考資料 1＞審議経過.....	28
	＜参考資料 2＞シンポジウムの開催.....	29
	＜付録＞参考図.....	31

1 はじめに

森林は日本の国土の3分の2を占めており、日本は世界でも有数の森林国である。森林は陸上生態系の中心を成し、周辺の環境に対して様々な形で大きな影響を及ぼしている。森林が持っている国土保全や水源の涵養等の公益的な機能は、木材生産機能と並んで、地域社会の生活や経済と密接に結びついており、生態系サービス⁹と呼ばれている。日本学術会議の答申「地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について」では、森林の代表的な機能として、①生物多様性保全機能、②地球環境保全機能、③土砂災害防止機能／土壌保全機能、④水源涵養機能、⑤快適環境形成機能、⑥保健・レクリエーション機能、⑦文化機能、⑧物質生産機能、をあげている[3]。

このように森林には多様な機能があるものの、森林は成長するのに非常に長い年月を要するので、取扱いを誤るとその影響は長期に及ぶ。そのため、森林の取扱いは次世代のことも考慮に入れて慎重に行う必要がある。一方、森林は再生可能な生物資源であるので、適切に取り扱うことにより、持続的に利用することができる。これらの理由により、持続可能な森林経営は森林管理の第一の目標に掲げられている。

近年、我が国の森林は、毎年約 8,000 万 m^3 ずつ蓄積が増加するとともに、人工林では 50 年生以上の面積が 2017 年には全体の 6 割に達する見込であるなど量的には充実しつつある。しかし、国内の林業は、主伐の立木販売収入が育林経費を下回る状況もあるなど、依然として生産性が低い状況にあり、毎年の木材販売収入が家計の主な収入である林家は全体の 5%に過ぎず、約 4 割の林家が山林を保有していても林業経営を行っていない。したがって、日本には、スギ、ヒノキ、カラマツ等の人工林が約 1,000 万 ha もあり、国土の約 27%を占めているが、人工林では間伐⁵施業が遅れていることが多い。なお、森林は二酸化炭素を吸収して光合成をおこなっているので地球温暖化対策の一環として「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法」に基づいて毎年約 50 万 ha の間伐が実施されている。我が国の人工林は資源として十分に成熟しているものの[1]、なかなか利用できていないのが現実である。その理由は、高度経済成長後の円高に伴い、相対的に安価となった外材が大量に輸入されるようになり、国産材価格が長期にわたって低迷し続けた結果、国内林業の多くが産業としての実体が失われてしまったからである。その結果、管理の行き届かない森林が増加しており、間伐の遅れによる下層植生の消失と土壌の流亡によって水土保持機能等の森林の公益的機能が低下し続け、現在に至っている。加えて、ニホンジカによる食害も年々深刻になってきており、伐採後に再造林を行うには防鹿柵の設置など余分なコストがかかるので、ますます主伐がためらわれる事態になっている。林業や木材関連産業の衰退や低迷は、山村地域や中山間地域の過疎化、高齢化の一因にもなっている[4]。

以上が、日本の林業が抱えている経済的、社会的、構造的な問題であり、様々な要因が複雑に相互に関連しており、解決が難しい。しかしながら、木材は再生産が可能で、しかも、自然界の炭素の増加に結びつかないカーボンニュートラルな資源であるので、約 1,000 万 ha にも及ぶ人工林資源を持続的に有効利用していくことは、地方創生につながるだけでなく、地球のエネルギー問題や温暖化問題を考えていく上でも大変重要な課題である。

近年は、気候変動が自然及び社会システムに大きな影響を与え始めており、森林生態系

の持続性や生物多様性の確保を脅かすことも懸念されている。特に、地球温暖化は、樹木の物質生産や繁殖、分布域などへ直接的な影響を及ぼしているだけでなく、生物間相互作用を通して病虫獣害の発生にも関連している。また、台風の巨大化や集中豪雨などの異常気象は風害や斜面崩壊、山地災害、土砂災害などの誘因にもなっている。雪の降り方の変化も樹木への雪害を招くだけでなく、例えば、積雪深の変化は森林生態系における種間競争やニホンジカの分布域にも影響を及ぼしている。

森林は大気中の二酸化炭素を吸収し木材として蓄積する機能があるので、これまでは、森林の適切な管理は温暖化対策の主要な緩和策⁴の一つとして位置付けられてきた。しかし、森林生態系そのものが気候変動による深刻な影響を受けるようになったことから、気候変動に対応する適応策についても戦略的に推進すべき状況になっている。

気候変動下において、森林生態系の持続性を高める適応策を講じつつ、あわせて、再生産が可能な木質バイオマス資源を生産・加工・利用することによって、林業・木材関連産業の活性化を図り地方創生や地域振興に結びつけることは、温暖化の原因となっている化石資源への過度の依存からの脱却を目指す方向とも一致するものであり、持続可能な社会の構築を目指す 21 世紀の潮流に沿うものである。

木質バイオマスの利用については、近年、幾つかの注目すべき動きがある。まず、再生可能資源を対象とした固定価格買取制度の導入によるバイオマスエネルギー利用、次に公共建築物等における木材の利用促進、耐火集成材の開発、直交集成板³を用いた木造高層建築物の建設等の材料としての利用、そして、高度利用としては、セルロースナノファイバー (Cellulose Nanofiber: CNF)、改質リグニン、木材・プラスチック複合材 (Wood Plastic Composites: WPC) 等の利活用技術の開発である。そのため、森林・林業と木材加工産業の協働による木質バイオマスの供給から利用までの一貫した技術開発が必要とされている。

さらには、高度情報化時代の今日にあっては、森林地理情報システム (Geographic Information System: GIS) の普及など情報通信技術 (Information and Communication Technology: ICT) の活用についても目覚ましい進展がある。特に、森林モニタリングの分野においては、航空レーザー測量 (Aerial Laser Scanning: ALS) などのレーザー計測技術が実用段階に入ってきており、エビデンスに基づく精密森林管理も技術的には可能になってきた。ICT を活用した森林クラウドによる情報の共有化は、林業と木材業との新たな連携の構築にも繋がり、地方創生に向けた取り組みとしても期待されている。

なお、2003 年度に初めて高知県で導入された、森林保全のための県民一人ひとりが負担する目的税「森林環境税」は、2016 年 12 月の時点で、すでに 37 府県で導入されている。自由民主党税制調査会も、2016 年 12 月に、地球温暖化対策の一環として、市町村の森林整備を支援する「森林環境税」を創設する方針を示した。今後、新しい国税の具体的な制度設計について地方自治体等との調整が進められる予定である。

本報告は、森林・林業・木材関係の学会及び学協会における最近の研究動向並びに関係する行政の取り組み等を調査した結果に基づいて、日本の森林の現状について報告するとともに、順応的かつ持続的な森林管理に向けて早急に解決すべき課題とその対策について取りまとめたものである。

2 気候変動環境下における森林の現状と課題及びその対策

(1) 地球サミット以後の経緯

地球の温暖化、砂漠化、生物多様性の減少など、地球規模の環境問題のうちの多くの問題が、森林と直接的、間接的に関わっている。1992年に開催された「環境と開発に関する国際連合会議（地球サミット）」では「21世紀に向け持続可能な開発を実現するために各国及び関係国際機関が実行すべき行動計画（アジェンダ21）」、「気候変動に関する国際連合枠組条約（気候変動枠組条約）」、「生物の多様性に関する条約（生物多様性条約）」が採択されたが、「森林原則声明」も同時に発表された。森林原則声明では、森林を生態系としてとらえ、森林の保全と利用を両立させ、森林に対する多様なニーズに持続的に対応すべきであるとして、持続可能な森林経営（Sustainable Forest Management：SFM）が目標に掲げられた。この流れを受けて、各地域において持続可能な森林経営のための基準と指標が定められた。なお、基準とは持続可能な森林経営を構成する要素のことであり、指標とは基準を計測・描写したものであって、森林の取り扱いの適否を判断するためのものである。

日本は欧州以外の温帯林を対象とするモントリオール・プロセスに加盟している。モントリオール・プロセスでは、1995年に七つの基準と67の指標が合意された。七つの基準とは、①生物多様性の保全、②森林生態系の生産力の維持、③森林生態系の健全性と活力の維持、④土壌及び水資源の保全と維持、⑤地球的炭素循環への森林の寄与の維持、⑥社会の要望を満たす長期的・多面的な社会・経済的便益の維持及び増進（木材生産を含む）、⑦森林の保全と持続可能な経営のための法的、制度的及び経済的枠組み、である。

また、関連する動きとして、森林認証制度がある。これは、持続可能な森林経営に関する一定の基準を満たしている森林経営を認証する制度であり、代表的なものとして、FSC（Forest Stewardship Council：森林管理協議会、1993～）の木材ラベリング制度、ISO（International Organization for Standardization：国際標準化機構）の14000シリーズ（1996～）、そして、日本独自のSGEC（Sustainable Green Ecosystem Council：『緑の循環』認証会議、2003～）がある。

2014年のIPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change：気候変動に関する政府間パネル）の第5次評価報告書（Fifth Assessment Report：AR5）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。温暖化への適応とは、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付けられている。森林管理においても、二酸化炭素の吸収源・貯蔵庫としての役割を担う従来の緩和策に加えて、適応策が必要とされ、生物多様性の保全や山地災害の軽減が課題になっている[5][6][7]。

(2) オゾン並びに酸性降下物の日本の樹木に対する影響の現状

地球レベルの気候変動は、気温の変化による分布域の変化をもたらすだけでなく、水ストレス¹⁰等による影響により森林生態系の持続性を脅かすことが懸念されている。また、化石燃料の使用に伴う大気汚染は、気候変動の遠因になっているだけでなく、植物に対して様々な影響を与えている[8]。

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成長、光合成などの生理機能及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[9]。

成層圏ではオゾン濃度の減少が問題となっているが、対流圏では強力な温室効果ガスでもあるオゾンの平均濃度が増加し続けている。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いるが、その原因の一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成長を低下させる。実際に、ダケカンバ、シラビソ、オオシラビソなどが衰退している奥日光やブナが衰退している丹沢山地において、100ppb 以上の比較的高濃度のオゾンが観測されている。ブナ衰退地ではオゾンによる積算純光合成量の年平均低下率が高く、オゾンがブナ衰退の一因である可能性が示されている[10]。

(3) 気候変動が森林に及ぼす生物関連リスクの現状及びその適応策に向けての課題

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域などに直接影響する場合もあるが、以下に述べるように、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。そのため、具体的な適応策を考えるためには、分布域の変化のスピードや生物間相互作用のメカニズムを解明することが課題となる。

日本では低い標高域でも高山植物が分布しているが、それは多雪や強風といった冬の気候条件が効いているからである。そのため、高山帯植生への気候変動による影響が大きいと考えられている。分布モデルを用いた解析によれば、亜高山帯植生の分布域のシフトの程度が、高山帯の分布域の変化へ大きく影響するとの予想である。実際に過去約 30 年間の高木限界¹¹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く、亜高山帯植生と高山帯植生との生物間相互作用の影響と思われる。

樹木とほかの生物との相互作用（被食、送粉¹²、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、相互作用の相手となる動物の移動スピードはかなり速い場合も多い。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おり、現在、樹木の病気は病原生物を運ぶ昆虫の分布限界まで急速に広がりつつあるが、温暖化によって分布限界が拡大する可能性があるニホンジカの個体数増加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。

気候変動に対する生態系の適応策については、次の3つの視点が必要である。

1) 生態系そのものの気候変動への適応。

2) 他の分野の適応策が生態系に及ぼす影響の回避。例えば、山地災害の防災対策として設置された治山施設がコリドー（生態的回廊）を分断するなどの悪影響を及ぼす場合などがこれに該当する。

3) 生態系を利用した適応策（Ecosystem based Adaptation：EbA）。EbA とは、気候変動に対する包括的な適応戦略として、生態系及び生態系サービスの直接的な利用を組み入れる取り組みのことをいう。代表的な活動としては、森林の保全による斜面の安定化や河川流量の維持、湿地の再生による洪水に対する防備などがある。ただし、災害に対して適応できる範囲や内容については当然のことながら限界がある。

以上の現状と問題点を踏まえて、気候変動が森林に及ぼす生物関連リスクを軽減するための解決策については、主なものとして、次のような課題がある。まず、気候変動の予測精度を上げるためには、少なくとも 1km メッシュよりも詳細な空間解像度の高いデータが必要になる。温暖化の影響をモニタリングする体制の構築とともに、相互作用も含めたプロセスモデルも開発しなければならない。また、適応策は温暖化リスクに対する社会の対応法によっても変わりうるものなので社会経済的シナリオと気候変動シナリオの統合が必要である。そして、科学的・社会的コンセンサスを得るためには、環境影響評価などにおける不確実性の評価、生態系の脆弱性と回復力の評価などが必要である[11]。

(4) 極端気象と山地災害リスクの現状及び解決に向けた課題

記録的な強雨や大雨が毎年のように発生し、2013 年 10 月の伊豆大島の台風 26 号災害、2014 年 8 月の広島市の局地的豪雨災害、2015 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[12]。そうした現状のなか、降水現象の極端化に伴う災害の激甚化への対策は喫緊の課題であると同時に、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。

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、発生タイミングの変化、規模の拡大につながると考えられている[13]。近年の災害事例で認められる特徴として、森林の高齢化が進む中、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。また、谷の最上流部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[14]。

以上の現状と問題点に対する解決方法として、山地災害への備えは、危険性の高い箇所を把握し、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・減災効果と治山ダムや土留工

の治山施設が持つ侵食防止機能を組み合わせた対策を施すことが出発点となる。災害リスクを減らすには監視技術の高度化や避難誘導体制の整備等のソフト対策も重要である。

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[15]。森林の防災・減災機能の活用はまさにEco-DRRの一つといえる。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、人や社会への影響の大きさや脆弱性との相互作用により決まる[16]。気候変動に伴う様々な影響の程度や災害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や時代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[17]。

(5) 気候変動に対応した森林資源管理の適応技術開発

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あり、2016年5月に策定された「森林・林業基本計画」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。

2015年8月に策定された「農林水産省気候変動適応計画」では、次のような内容が記されている。①山地災害については、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。②人工林については、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・乾燥ストレス等に適応した品種開発に着手する。③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ることから、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。④病虫害については、森林被害のモニタリングの継続や病虫害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。⑤野生鳥獣の分布拡大による造林木の被害については、被害防止のための防護柵設置や効率的な捕獲技術の開発・実証に取り組むとともに、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。

また、2015年3月に決定された「農林水産研究基本計画」に基づいて、「山地災害リスクを低減する技術の開発」、「人工林に係わる気候変動等影響評価」、「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」、「野生鳥獣拡大に係る気候変動等の影響評価」等の研究課題が、2016年度から5年間の期間で開始された。

以上のとおり、気候変動に対する適応技術の開発は森林・林業の分野でも進められているが、個体の寿命や栽培期間が非常に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動の影響を緻密に予測することは容易ではない。多くの不確実性がある中では、「柔軟な対応力のあるシステムの構築」が最終的に目指す適応策であるとも考えられる。それゆえ、人工林、天然林も含めて多様な林分（りんぶん）¹³を維持・管理していくことも重要である[18]。

3 国内林業の現状と課題及び森林情報解析技術の進展

(1) 国内林業の実態は道端林業

木材は重厚長大であって取扱いが難しいので、機械や装置を利用する必要がある。高性能林業機械を導入した搬出方法としては、車両系と架線系の2種類の作業システムがある。車両系とは、林道・作業道を高密度に開設し、林道や作業道の沿線の森林を、ハーベスタ¹⁴やスイングヤーダ¹⁵などを用いて収穫するものである。一方、架線系とは、林道、作業道から遠く離れた森林からタワーヤーダ¹⁶などを用いて収穫するものである。

しかしながら、高性能林業機械の集材可能距離は意外に短く、しかも、機械の種類によって異なる（表1）。したがって、林道・作業道沿線のごく狭い範囲の森林だけが伐採・搬出の対象となる。まさに、道端林業、これが国内林業の実態である（図1）[4]。

表1 高性能林業機械別の概略の集材可能距離

想定する作業システム	概略の集材可能距離		
ハーベスタ	0	～	25 m
スイングヤーダ	25	～	50 m
地形等に応じて			
スイングヤーダまたはタワーヤーダ	50	～	100 m
タワーヤーダ	100	～	300 m

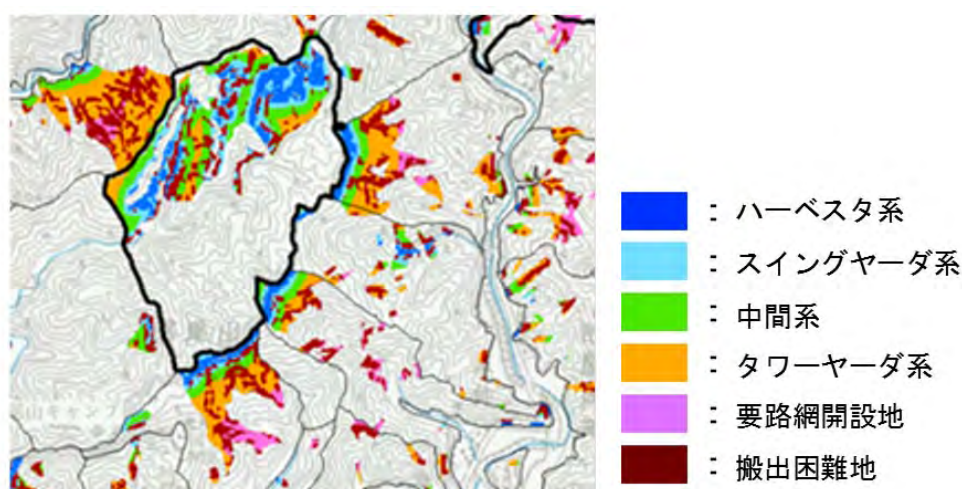


図1 適用する作業システムの違いに応じて細かく区分された林分の例

傾斜が緩く林業・作業道からも近いところではハーベスタやスイングヤーダ等を使うことができるが、林道・作業道から遠い急傾斜地ではタワーヤーダ等の架線系の林業機械しか使えない。更に遠いところは、林道・作業道の開設を必要とする要路網開設地や搬出困難地として区分される。

(2) 森林管理の視点による新たな森林区分の必要性

前述のとおり、日本には、スギ、ヒノキ、カラマツ等の人工林が約1,000万haもあるが、間伐が遅れている森林が増加するなど、質的に劣化してきている。また、これら

の人工林の多くは森林資源として十分に成熟しているが、なかなか利用できていない数字等で利用現状を示されるとより科学的な理解を促進する。

森林を適切に管理して公益的な機能を発揮させるには、それ相当の経費がかかる。森林を、林業に市場原理が導入できるか否かで区分すると、①林業による森林管理、②公的な森林管理、③その他の非営利活動等による森林管理、の3つに分類することができる。①は市場原理を導入し、林業によって管理することのできる経済林であり、森林の物質生産機能を重視したスギ・ヒノキ林などの人工林が対象である。約1,000万haの人工林のうち、過大に見積もっても約半分しか該当しない。通常、次世代の森を構成する後継樹が育っていないことが多いので生態系として自立していない。そのため、伐採跡地には植林等が必要である。②は林業を目的としない森林であり、かつ、後継樹が健全に育っていて、生態系として自立している森林である。公益的機能を重視した環境林であり、公的な保全・保護の対象になる。約2,500万haある天然林のうち、近年のナラ枯れ被害やシカによる食害を考慮に入れると、生態系として自立できている森林は半分にも満たないと考えられる。③は林業的に採算が合わず、かつ、生態系としても自立していない森林である。被災した森林など防災上の措置が必要な森林も含まれるが、主なものは、採算が合わない人工林であって非営利活動や公的資金を投入しても修復すべき森林（修復林）である。間伐等の施業を実施して健全な森林に誘導し、自立可能な自然度の高い森林に修復・誘導していく必要がある。修復林の対象となるのは、少なく見積もっても、約半分の森林が該当することになる。

理想論としては、林業を通して管理する経済林の面積を増やすことであるが、従来の作業システムではコストが掛かりすぎて採算があわない森林も多い。丸太1m³当たりの国際価格はほぼ100ドルという水準で推移しているので、この価格で採算が合う森林経営をしていくしかない。林道・作業道を開設して高性能林業機械を導入したり、コンテナ苗を採用したりする低コスト林業に取り組むことも一つの方策であるが、様々な森林情報を分析して伐採・搬出コストや再造林コストを綿密に計算し、採算が合う林業地の条件を明確化する必要がある[4]。

(3) 森林政策の現状：森林・林業再生プラン[2]と市町村森林整備計画

道端林業の現状を踏まえた政策として、林野庁は2009年12月に「森林・林業再生プラン」を発表した。このプランは、今後10年間を目途に、林道・作業道の整備、森林施業の集約化及び必要な人材育成を軸として、効率的かつ安定的な林業経営の基盤づくりを進めるとともに、木材の安定供給と利用に必要な体制を構築し、我が国の森林・林業を早急に再生していくための指針を示すものである。これを踏まえた全国森林計画、地域森林計画、市町村森林整備計画が作成され、2012年4月から実行に移されている。

市町村森林整備計画は、「森林・林業再生プラン」の実現に向けた森林のマスタープランとして位置付けられている。特に、森林機能区分については、市町村の特色を活かした実効性のある森林ゾーニングが重要かつ喫緊の課題になっている。さらに、同プランでは木材自給率50%を目指しているので、森林施業の集約化や林道・作業道の整備等

が課題になっており、現地の地形や地質を踏まえた具体的な森林経営計画の作成が求められている。

このように森林管理の現場では高度な空間情報が必要になってきており、そうしたニーズを市町村森林整備計画に反映させていくためには、GIS（地理情報システム）の空間解析機能を応用することが必要不可欠になっている[4]。

(4) 森林 GIS 解析による利用可能な森林資源量の推定事例

解析事例として、「綾部市森林マスタープラン」（2014）の試算例を紹介する。綾部市は京都府の中央部に位置し、森林面積は市域の約 77%を占めており、人工林は 11,874ha ある。森林資源量解析では、まず、傾斜と伐採搬出作業システムに対応した林地区区分図を作成して、個々の森林がおかれている地利¹⁷的条件を可視化し、最終的に、綾部市全域を対象とした作業システム区分図を作成した。この図をもとに、森林簿¹⁸からそれぞれの条件に適合する森林面積と森林蓄積¹⁹を、スギ・ヒノキの樹種別、齢級別に求め、それらを集計することによって、綾部市の人工林から伐採・搬出することが可能な森林資源量を推定した。

GIS 解析の結果、間伐対象齢級を 5 齢級から 9 齢級とした場合に、ハーベスタやスイングヤーダの車両系のシステムで伐採・搬出できる森林資源量は、全対象林分の蓄積量の僅か約 11%すぎないことが明らかになった。現在、綾部市森林組合では車両系のシステムを用いているが、仮に、タワーヤーダ等の架線系のシステムを導入するとすれば、伐採・搬出できる森林資源量は約 26%増加する。また、新規林道・作業道を開設することにすれば、伐採・搬出できる森林資源量は更に約 23%増加することが示された。しかしながら、綾部市では、現在の車両系及び架線系の作業システムでは対応できない区域が残ってしまい、その森林資源量は全体の蓄積量の約 40%（ $100 - 11 - 26 - 23 = 40$ ）に達していた[4]。

(5) レーザー計測等に基づく森林情報解析技術の進展

森林には、地球温暖化に基づく生物多様性の変化や、気候変動によって巨大化した台風などによる気象災害や土砂災害による森林の変化がある。ここでは、近年、急速に普及しつつあるレーザー計測に基づく森林モニタリング技術の現状について報告する。

航空レーザー測量（ALS）とは、航空機から近赤外線レーザーを地表に向かって連続照射し、その時の飛行物体の位置と反射したレーザーが返ってくるまでの時間を解析することによって、地表面や地物表面の高さと位置座標を計測するものである。この技術はLiDAR（Light Detection And Ranging）とも呼ばれている。LiDAR データを解析することにより、大きな立木であれば、個々の立木の樹高や樹冠幅、枝下高等を計測することができる（参考図 1）。

しかし、若齢林等では、個々の立木を抽出して樹高等を計測することは困難である。そこで、レーザー照射後に最初に跳ね返ってきたデータを用いて DSM（Digital Surface Model；数値表層モデル）を作成し、最後に跳ね返ってきたデータを用いて DEM（Digital

Elevation Model；数値標高モデル）を作成して利用している。森林の場合は、DSM は主に樹冠表面を表しており、DEM は林床や地表面を表している。DSM と DEM の差は樹冠高を表すメッシュモデルになるので、DCHM (Digital Canopy Height Model) と呼ばれている。これにより、局所地形に応じた大凡の樹高がわかるようになるので、地位（林地生産力）の面的な把握が可能になる。

LiDAR データから立木本数密度を自動的に推定する方法も幾つか提案されている。主な手法としては、LMF (Local Maximum Filtering) 法、Watershed 法、Valley-following 法などがある。平均樹高と立木本数密度が分かれば、林分密度管理図²⁰を用いることによって森林蓄積¹⁴を求めることができ、平均直径も推定することができる（図2）。

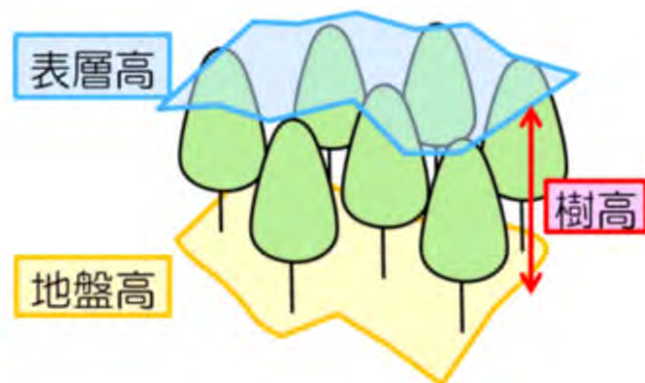


図2 樹高推定の概念図

平成24年度デジタル森林空間情報利用技術開発事業のうち現地調査
及びデータ解析・プログラム開発事業報告書（2013）より

また、最近では、地上レーザーも応用され始めており TLS (Terrestrial Laser Scanning) と呼ばれている。TLS の計測結果を用いれば、森林空間の内部を 3D 表示することが可能であり、立木位置図も比較的簡単に作成することができる。立木の形状や枝張り、枝下高、任意の高さの幹の直径も計測できるので、立木材積を区分求積法²¹の考え方に基づいて1本1本推定できるようになると期待されている。

全地球的な気候変動に伴い台風が巨大化するとともに、ゲリラ的な集中豪雨が発生するようになった。土砂災害リスクや林道・作業道の崩壊リスクの高まりは、森林を管理していく上で大変重要な問題である。1 mメッシュ以下の細密な DEM があれば、CS 立体図を比較的容易に作成することができる。CS 立体図とは、DEM から曲率 (Curvature) と傾斜 (Slope) を計算し、指定した色を割り当てることによって作成されるものであって、微地形の特徴を直感的に判読することができる（参考図2）。

最近では、UAV (Unmanned Aerial Vehicle；無人航空機、通称ドローン (drone)) を使って撮影した空中写真データから DSM や 3D モデルも比較的簡単に作成できるようになったことから、UAV は森林モニタリングの安価なツールとして大いに期待されている。

以上のとおり、ALS や TLS の最新の森林計測技術や UAV を応用することにより、地況や林況にあわせた精密な森林管理や伐採・搬出計画の作成及び林道・作業道計画の作成が可能になりつつある[4]。

4 木質バイオマス利用の現状と課題及びその対策

森林が「守り育てる」ものから「持続的な循環利用」するものへと大きくパラダイムシフトするなか、林業や木材産業が自国の豊富な資源を利活用する成長産業として位置づけられ、更に地方創生に欠かせないものとして認識されている。こうした状況のもと、長年にわたり蓄積されてきた木材のサイエンスとテクノロジーをベースとして、適正に管理された森林から生産される木材を最大限有効活用することが求められている[19][20]。

(1) エネルギー利用の現状と課題及びその対策

バイオマスエネルギー利用に関しては、2002年に「バイオマス・ニッポン総合戦略」が閣議決定された後、政策的な推進が図られてきた。化石燃料の利用については温暖化防止対策に向けたCO₂排出削減が求められ、また、東日本大震災とそれに伴う福島第一原子力発電所での事故により原子力エネルギー利用に対する安全神話が崩れたことなどから、再生可能資源に基づくエネルギー生産に社会的な期待が高まりつつある[21]。政府は太陽光、風力、地熱そしてバイオマス等の再生可能資源を利用する発電事業者に対して固定価格買取制度(FIT)を2012年に導入するなどの政策展開を図っている。使用する燃料により価格が異なり、未利用間伐材や林地残材は32円/kWh、一般木材24円/kWh、建築解体材等のリサイクル木材13円/kWhとし、2015年4月から未利用木材による小規模(2MW未満)プラントの発電に対しては40円/kWhに引き上げられた。このような状況のもと、木質バイオマスを利用する発電事業が急速に増えつつある。

木質バイオマスを燃焼させて得られる熱エネルギーで蒸気タービンを回す従来の発電方式では、出力規模が小さくなると発電効率が著しく低下する。例えば、1MW～2MWの小出力プラントの場合、発電効率は8～12%と低く、5MW～20MWの中規模プラントになると20～30%まで向上する。経済的な最小規模とされる5MW出力の発電施設を動かす場合、年間10万m³程度の燃料用木材が必要と計算され、仮に、1haあたり50m³の丸太が得られるとしても、年間2,000haの森林から燃料用木材の調達求められることになる。カーボンニュートラルの考え方は、エネルギー利用によるCO₂排出量と同等のCO₂が光合成によって樹木に固定されることが前提であり、木質バイオマスのエネルギー利用は、森林の育成によってCO₂吸収量を増大させ、同時に大面積の森林管理の責務を負っていることを認識する必要がある。バイオマス資源は再生可能ではあるが、原則として、成長量以上の収穫はできないので、持続性の観点から資源制約がある。

木質バイオマス発電のもう一つの課題は熱の利用にある。専焼型の蒸気タービン発電施設では、エネルギーが熱として逃げるため、エネルギーを効率的に利用するためには、燃焼によって発生する熱の併用を考える必要がある。したがって、バイオマス発電を成立させるためには、電力と熱需要の両者が見込める産業や地域性を考慮することが必要となる。同時に、木質バイオマスは分散型の資源であるため、集荷量を安定して確保することが求められる。木質バイオマス発電は地域への経済波及効果が大きいといわれるが、原料のサプライチェーンの構築が課題となる。木質バイオマスは再生産可能エネルギー資源であり、地熱を除く他の自然エネルギーと異なり、電力の安定供給が可能な電

源として位置付けられる。一方、未利用木材及び一般木材による発電は、材料としての利用との競合を避けるべきであり、地域の経済、環境に十分配慮し、カスケード利用²²の観点から適切な活用を図るべきである。なお、現行のFIT制度のスキームは、長期的には市場メカニズムに統合されることが求められるので、買い取り価格は順次引き下げられることになる。将来の普及のためには、石炭との混焼、あるいはコジェネレーションによる電熱併用型総合システムを用いた熱効率の大幅な向上が鍵となる。

以上を概括すると、木質バイオマス発電では持続的な燃料供給の確保が不可欠である。原料事情から元来小規模分散型エネルギーであり、地域の実情に応じた原料供給の安定化が課題になる。未利用木材の活用により、地域エネルギーとして林業及び林産業や地域振興に資することが期待される。今後は、小型で分散可能な熱電併給システムに向けた技術開発やカスケード利用のための仕組みや流通の構築が求められる。

(2) 用材としての利用の現状及び課題

日本の木材消費量約 7,000 万 m³のうち、ほぼ半分が製材やパネルなどの材料に加工され、その 8 割が建築用として用いられている。加工の過程で端材や木屑等が出るので、実際に建築用に使われる木材は約 1,100 万 m³と推計されている。また、最近の木造住宅の着工数は年間 50 万戸程度であり、一棟当たり平均で 20m³の木材を使うとすると、その総量は 1,000 万 m³となり両者は概ね合致する。建築用材 1 m³を得るのに約 2 m³の丸太が必要であることを考えると、建築用木材需要の中心は一般住宅であることがわかる。木材の利用を促進するためには、木造率を上昇させることに加えて、住宅一戸当たりの木材使用量を増やすことが重要な選択肢である。また、住宅の耐震性、耐火性、耐久性、断熱性などの技術面での課題とともに、国産材の利用に当たっては、安定的な大量供給システムの強化などの課題があげられている。

次に期待されるのが、住宅以外で規模の大きい建築物への利用である。「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が 2010 年に制定され、木材の利用を促進することが地球温暖化の防止、循環型社会の形成に貢献し、ひいては、林業の健全な発展と木材の自給率の向上に寄与するものと期待されている。ここでいう公共建築物とは、学校、社会福祉施設や病院などで、特に学校施設は地方自治体においては公共建築事業の中心的なものであり、木造化・木質化が進みつつある。

しかしながら、課題も顕在化している。その一つは、耐火構造等に係る基本的な技術課題が十分に解決されていないことである。学校、医療、福祉などの施設については、3階建てや延べ床面積3,000m²を超えるものは耐火建築物にすることが求められており、現行の法規に従えば木造化は難しい。そうした中、実大構造物の火災実験により3階建て木造校舎の規制が緩和されるなど、法的な整備が進みつつある。公共建築物の木造化を進めるためには、防耐火は最重要な課題であり、実験や理論に基づいた手法による対応や、耐火用木質材料の開発などによる対応が求められている。さらに、国や地方公共団体はこれまで建築物の非木造化を進めてきた経緯から、行政担当者や設計技術者に木材と木材流通の基礎知識が乏しく、木造建築の経験が少ないことも課題である。

(3) 耐火集成材の開発

これまでの木造では、石膏ボードなどの不燃材で木材を覆うことにより耐火性能を確保する方法が一般的であった。そのため、木造ではあっても「木がみえない」ことになり、木質の持つ特長が十分活かせないという懸念があった。2000年の建築基準法改正で「耐火性能を確保した建築物であれば木造建築の建設が可能」となり、大規模木造建築の可能性が広がったことを契機に、カラマツやスギなどの集成材に構造性能と耐火性能の両者を満たす耐火集成材の開発が進んだ。特に、木を見せた耐火木造建築物を実現する新技術が検討されている。断面の大きな木材は、火災時に一定の速さで燃焼するが、燃え尽きることはなく、ある段階になると耐火構造の条件である「燃え止まり」が起これることが実証されている。耐火集成材の開発にあたっては、表面に配置された集成材が火災時には「燃え代層」として自らが燃焼・炭化して断熱効果を発揮し、内部の「燃え止り層」が燃焼を阻止するよう設計されている。この燃え止り層には難燃薬剤注入処理された集成材や合板、あるいは石膏ボード、モルタルなどが使用されている。他方、大断面の集成材内部に鋼材あるいは鋼材とコンクリートを内蔵した集成材が提案されている。これらは木質ハイブリッド型とよばれ、集成材は中の鋼材に対する耐火被覆、すなわち「燃え代層」の役割を担っている。なお、木質ハイブリッド型には、集成材に代わり薬剤注入 LVL（単板積層材）が使用されるなど、複数のタイプが開発されている。これらに共通する規格はなく、耐火炉の中で燃焼試験を行い、有効性を確認したうえで、「大臣認定」を受けたものが実用に供されている。

耐火構造には主要部材だけでなく、柱や梁の接合部などに関連する耐火技術等の開発が必要であり、これらを併せることで、4階建てや最上階から数えて4階下までを木造化した耐火木造建築物が可能になる。また、木造に加えて鉄筋コンクリート造や鉄骨造の一部を木造とした混合構造も可能となり、木材を適材適所に利用することで、より一層の木造化・木質化を進めることができる。耐火集成材の開発は、都市の木造化並びに公共建築物への木材利用を広げる重要なキーテクノロジーである。

(4) 国産材を用いた直交集成板（CLT）の技術開発

直交集成板（CLT）は最近開発された新しいタイプの木質材料で、用材としての利用が期待されている。CLTはCross Laminated Timberの略で、ひき板（ラミナ）を並べた後、繊維方向が直交するように積層接着した木質材料である。CLTの製造技術や利用技術はスイス、オーストリアで大規模な木造建築を作るために開発されたものであり、現在では欧州、北米、オーストラリアでもこれを用いた高層建築が建てられている。CLTは厚さ15cm以上で40cmに及ぶ厚いものもあり、大きな面積のパネルであることから、立てて使えばそのまま壁になり、寝かせば床として使うことができる。日本では平成25年に制定された日本農林規格により「直交集成板」と命名された。また、関連の建築基準法告示が2016年に公布・施行され、CLTの一般利用が開始されている。

CLTは木材を大量に使用することから、森林資源を有効活用した環境調和型の建物であるとの認識に加えて、国産のスギ、ヒノキ、カラマツなどの針葉樹の利用促進に期待

が寄せられていたところ、日本再興戦略改訂 2014 の「林業の成長産業化」において、「新たな木材需要を生み出すため、国産材 CLT 普及のスピードアップを図る。実証を踏まえ、2016 年早期を目途に CLT を用いた建築物の一般的な設計法を確立するとともに、国産材 CLT 生産体制構築の取組を総合的に推進する。」と謳われたことが契機となって、一層注目されるようになった。

CLT は従来の木造建築の範疇を超えた中層建築や大規模建築を可能にすること、工期短縮が期待できることなどが特徴とされているが、国産材の使用に関しては、接着耐久性の向上など欧米と異なる日本独自の技術展開が必要となる。また、CLT は構造躯体としての機能の他に「高い断熱性、耐火性、遮音性、施工性の良さ」などがそのメリットとして挙げられているが、実証データは十分とは言えない。一般的な構造部材として普及し、新たな木材利用分野の拡大に資するためには、木質科学、建築学の関係者、研究者の努力が求められる。CLT の強度性能を明らかにし、安全な使い方に関する技術開発が必要である。

(5) 高度利用と研究開発

木材などの植物細胞壁の主成分であるセルロースは、幅約 10nm の細長いナノオーダーの構造をしており、これをセルロースナノファイバー（CNF、超微細植物結晶繊維）と呼んでいる。その存在は細胞構造研究の対象として古くから知られていたが、細胞壁内で強く結束し、リグニンやヘミセルロースで充填された CNF を単離して工業利用することは困難とされていた。ところが最近になって、機械的に磨りつぶしてほぐす方法が進み、また TEMPO 触媒酸化と呼ばれる化学的な手法により幅 4nm の基本単位までほぐすことが可能となった。このほかにも、水中でパルプを高速で衝突させてナノ化を進める手法や、酵素加水分解による生産法も検討されている。セルロースナノファイバーは軽量であることが特徴で、結晶構造に由来する高強度・高弾性の特長を有しており、熱膨張率が極めて小さい、ガスバリア性が高いなどの優れた特性を発現することから、「最先端のバイオマス素材」と称されるなど、その将来性に期待が寄せられている。現在、木質科学の分野で最も注目される研究開発課題である[22]。

CNF 固有の強度特性を活かした純正の高強度材料開発には課題も多く、今後時間を要するものと思われるが、ナノオーダーの微細繊維の特長に着目することで、これまでにない用途が検討されている。CNF の幅は可視光の波長よりも細かく、均一に分散させることで無色透明となることから、透明で折りたためるエレクトロニクスデバイスへの応用が提案され、また、樹脂やゴムに均一分散することで軽量化と補強効果が実証されている。自動車部品、家電、プラスチック成型容器、ゴム、タイヤなど応用範囲が広がっている。また、力が加わると流動性が増すチキン性や分散安定性、乳化安定性などの特徴を活かして化粧品や塗料などに応用される一方、食品分野やゲル状シートとして医療関係への応用が研究されている。CNF は植物繊維由来であることから、環境調和型の次世代のバイオマス素材として注目されるなかで、こうした研究開発の動きに対して、日本学術会議農学委員会林学分科会では、多様な用途の可能性を考慮して、製造方法や原

料となる植物の特徴を理解した用途開発が重要であること、製造方法の安全性に加えて、ナノファイバー自身の安全性についても確認が必要であることが指摘されている。
[22]

セルロースに次いで、木材の重要な構成要素であるリグニンが注目されている。リグニンはフェニルプロパン (C6-C3) 単位が重合した芳香族高分子化合物で、高強度な CNF を固着するマトリックス (充填物質) として機能している。リグニンが細胞壁に沈着することを「木化」といい、高等植物の大型化を支え守る機能を果たしている。地球上で最も大量に存在する芳香族資源でもある。

最近になって、バイオリファイナリー研究²³の進展によりリグノセルロースからの有用ケミカルズに関する関心が高まり、リグニンの利用が注目を浴びた。リグニンは基礎骨格が芳香核で構成され、植物系バイオマスとしては炭素の割合が比較的高いことが特長である。針葉樹、広葉樹、草本系植物で化学構造が異なり、また取り出し方や反応の度合いによって材料特性が異なるなどの課題があり、材料としての利用に当たってはその多様性に留意する必要がある。そうした中、スギ材のリグニンは植栽地域や樹幹部位による性質のバラツキが少なく、また材中の含有量も比較的多いことから、均質性が求められる工業材料化に向いているなど、国産材利用の機運とあいまって研究開発が進みつつある。リグニンはフェノール性資源としては有用であるが、高機能性材料の開発に当たっては、新規用途の開拓と合わせたブレイクスルーが必要となる。

木粉とポリプロピレンやポリエチレンなど熱可塑性樹脂を混練成型した木材・プラスチック複合材 (WPC) は耐水性に優れた屋外用デッキ材として導入され、2000 年以降我が国でも需要が拡大した。木質系の中では比較的新しい材料であり、2006 年、2010 年に関連する日本工業規格が制定された。親水性の木材と疎水性のプラスチックを混合させるため、両者の界面の親和性が技術的な課題となる。樹脂の選定、相溶化剤等の使用に加えて、木粉の粒度や表面性状を改質することで自動車部品などの高強度な材料への転用が可能となる。また、前述の CNF との組合せによる高機能化が検討されている。

木質バイオマスの分解による CO₂ の放出と、生合成による樹木への炭素の固定は、地球規模の炭素循環と持続的な環境維持にとって興味深い研究課題である。およそ 4 億年前の石炭紀には巨大な植物が森林を形成し、これが同時代の地層に残る石炭の由来とされている。当時の地球にはリグニンを分解できる微生物がいなかったため、大量の植物が腐らずに蓄積されたと解釈されている。その後、有機炭素貯蔵量は急激に減少するが、これはリグニンを分解する白色腐朽菌が地球に登場した時期と一致すると報告されている。他方、自然界でのセルロース分解は、セルラーゼ (セルロース分解酵素) によって行われている。セルロースの分解効率に関する最近の研究では、セルラーゼがセルロース繊維を移動しながら分解する様子を高速原子間力顕微鏡により可視化することに成功した。セルロースの分解効率の低下が、固体表面を移動するセルラーゼが「渋滞現象」を起こすためであることが解明された。こうした研究は、木質バイオマスのエネルギー利用、材料としての利用、資源の循環に関わる基礎研究として貴重である。

5 福島原発事故による放射能汚染に係わる森林・木材・木材関連産業への影響（その後）

(1) 経緯

2011年3月11日の東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故によって多量の放射性物質が放出され、東日本の広範囲にわたって放射能汚染が引き起こされた。森林は宅地や農地周辺を除いて除染の対象になっておらず、手つかずのままである。そのため、地域の森林、林業、木材関連産業及び中山間地域の生活環境や暮らしに大きな影響が出ている。日本学術会議農学委員会林学分科会では、この問題に関して、2012年11月7日と2014年1月24日の2回にわたって公開シンポジウムを開催し、2014年9月には、それまでに得られた知見を報告「福島原発事故による放射能汚染と森林、林業、木材関連産業への影響－現状及び問題点－」として取りまとめ公表した[23]。放射性セシウム137の半減期は約30年と非常に長いため、継続的な調査研究が必要であることは言うまでもない。事故発生から6年が経過した。本報告では、放射性物質の動態や影響に関するその後の知見を前回の「報告」の構成に従ってまとめた。

(2) 森林生態系における放射性物質の現状と動態

① 森林における放射性物質の現状

放射性セシウムの土壌中への移入には、降水に溶け込んでの移動と落枝落葉に含まれての移動の2つのプロセスがある。また土壌内部の移動については、溶脱プロセス、有機物・粘土鉱物等への吸着・固定による化学的プロセス、植物や微生物の吸収による生物的プロセス、土壌の攪乱による物理的プロセスの4種類がある。セシウムは、化学的プロセスの一つである風化黒雲母や黒雲母由来の粘土鉱物による吸着によって強く固定される。チェルノブイリのケースでは、事故後30年を経過しても放射性セシウムは土壌表層に集積しており、土壌深層への移動は少ない。福島県川内村のスギ林における観測事例でも、森林内で放射性セシウムの土壌への移動が起きたが、その大部分は表層の鉱質土層（0～5 cm）に存在している。土壌母材によって粘土鉱物の組成が異なり、粘土鉱物の種類によってセシウムを固定する能力は異なる。福島地域には火山活動の影響を受け火山灰を母材とする土壌も分布しており、チェルノブイリ地域の土壌における知見がそのまま適用できるわけではないことから、土壌中でのセシウム動態のモニタリングを継続することが必要である[24]。

なお、一般社団法人日本治山治水協会が発行する「水利科学」誌では、2017年4月発行のNo.354（第61巻第1号）から「森林における放射性物質」をテーマに特集・シリーズの企画が始まったところである[25] [26] [27]。

② 森林生態系における放射性物質の動態

森林に降り注いだ放射性物質は、現状では、主に土壌に吸着・固定されているが、その一部は、植物の根から吸収され、食物連鎖を通して動物にも蓄積され、今後非常に長期にわたって森林生態系が放射性物質を保持し続けると予想されている。しかしながら、その動態については、空間線量が局所的に異なること、季節変動があること、

イノシシ等の大型動物や鳥類は行動圏が広いこと、食物連鎖のネットワークが複雑であることなどの理由により、調査・研究すること自体に困難を伴う。

そうした状況の下、多くの研究グループが、事故直後から放射性物質の動態を調査している[28][29][30]。例えば、東京大学の研究グループは農産物やその生育環境の汚染レベルが時間と共にどのように変化したのか英文図書にして出版している[31]。その著書の中で、野生動物・鳥・木・キノコ・材木などの汚染状況、森や水田における放射性物質分布の変化、林業や漁業の損害、消費者心理の変化などが報告されている。

③ 放射性物質の森林生態系外への流出

これまでに放射性セシウムによる地下水汚染は報告されていないが、河川への流出は量的には少ないものの起きている。チェルノブイリの事故に関する調査報告[32]によれば、放射性セシウムは森林内部に長期間にわたって留まる傾向が強く、その年間流出率は1%より小さい。

森林総合研究所が福島県郡山市内の小流域において2012年6月19～20日に通過した台風4号に伴う増水時の溪流水の測定では、流量増加過程に有機物や土壌に含まれていた放射性セシウムが懸濁態²⁴として流出し溶存態²⁵での流出は少ないこと、台風による大きな増水であっても森林からの流出率は極めて小さいことが示された[33]。森林からの土壌流亡は、地形条件や皆伐などの施業による攪乱強度によって大きく異なる。日本は地形が急峻な森林が多く、雨量も多く大型台風の上陸も近年増えており、土壌侵食や土砂崩壊によって溪流に運ばれた放射性セシウムが出水時に下流へ流出する懸念も指摘されている。モニタリングとともに、森林での放射性セシウムの動態に関する調査研究の継続が必要である。

④ 立木への放射性物質の蓄積

事故後半年の時点ですでに樹木の内部まで放射性セシウムが移行しており、その濃度は調査地の汚染度に比例していた。事故後の早い時期に、葉、枝、樹皮等の植物体表面から溶存態の放射性セシウムが吸収され、その後、樹幹全体に速やかに移行したと考えられている。放射性セシウム濃度は木材内部では比較的低いものの、樹皮では比較的高く、汚染初期の放射性セシウムの外部付着による影響が強く残っている。外樹皮の濃度は雨水による離脱と剥離によりやや低下傾向にあるが、内樹皮の濃度は外樹皮よりも低く木部より高い状態が続いていて、経年変化は小さい。チェルノブイリの事故の場合は、内樹皮の方が高濃度になっていく事例がある。木部の放射性セシウムの濃度は、スギは心材²⁶で、コナラは辺材²⁷で、上昇する傾向にあることが示された。経根吸収が生じていることについては、事故後に新規植栽された苗についての調査結果により確認されている[34]。

なお、安定同位体セシウム133やカリウム等を用いた濃度調査によれば、スギ林分では、放射性セシウムと同様に、これらの元素は旧葉より当年葉で高く、辺材より心

材で高かったことが報告されている。それらの結果は経根吸収プロセスの解明や放射性セシウムの動態を推測するのに役立っている[35]。

(3) 林業、木材関連産業への影響

住宅地や農耕地では表土を取り除くなどの除染作業が行われた結果、空間線量は大きく低下し、避難指示区域の見直しが行われた。森林については、住宅地や農耕地に接する林縁部の周囲 20m の区域では下草と落葉層の除去が行われたものの、大半の森林は除染の対象になっていないため、放射性セシウムによる汚染が続いている。そのため、放射能による林業作業者の健康への影響が懸念されている。

樹皮の放射性セシウム濃度が比較的高いため、製材の際に樹皮の処理が問題となっており、基準値を超えた樹皮の排出制限、樹皮の堆肥利用や燃料利用における事前のチェックが行われている。キノコ栽培原木や薪、木炭については放射性セシウム濃度の指標値が林野庁によって示されており、特に、キノコ原木は樹皮を含むことから、汚染された広葉樹材をキノコ原木として利用することは困難である。また、山菜や野生キノコ及び野生鳥獣から基準値を超える放射性セシウムが検出されたため、出荷制限されている自治体もある。以上のことから、林業経営や伝統的な里山利用が困難になっている[25]。

6 高度情報化時代における森林管理及び林業・木材業の連携による地方創生

(1) 研究用森林情報の公開と共有化の必要性

気候変動等の影響により、21世紀の地球環境については不確実性が高く、森林生態系についても将来の姿が的確に見通せない。こうした状況の中で、適応策を展開していくには、まず、森林モニタリングシステムを確立し、次に、そのデータに基づいて、森林生態系の中で起きている生物間相互作用のメカニズムを解明し、将来の姿を精度良く予測することが基本となる。森林モニタリングについてはレーザー計測技術の応用が進んでおり、詳細な森林情報に基づいた森林管理が可能になりつつある。

気候変動等の影響により森林生態系それ自体が大きく変化をし始めている中で、森林そのものの変化の予測に加えて、森林が有する種々の公益的機能の機能量の変化を予測することも必要である。そして、そうした予測を行うには、様々な分野からの専門家の参画も必要であり、彼らと連携作業を進めていくには、レーザー計測データに基づく高精度の森林情報等を公開して、研究者間で共有化することが必要になる。

ところで、森林管理に関する情報としては、都道府県が管理する「森林簿」¹³があり、そのデータは森林GISに登録されている。しかし、「森林簿」のデータは、元々が林業経営のために作成されたものであるため、林分⁸と呼ばれる森林管理上の区画を基礎単位としてデータがまとめられている。面積が広い林分の場合は、一つの林分の中に複数の地理的条件が含まれており、それに応じて当然、土地の生産力や伐採・搬出の経費が異なってくる。その結果、各種のシミュレーションを実施する場合は取り扱いにくいデータ形式になっている。また、「森林簿」には個人情報も含まれているため非公開である。したがって、シミュレーションを実施する場合には、必要となる森林情報を使い易い形式に作り替えるとともに、公開して共有化を図る必要がある。その場合に、個人情報に関わるデータは切り離して含めないことにする。

レーザー計測によって得られた森林情報は、DSMやDEM、あるいはDCHMなどのメッシュデータとして取りまとめられている。CS立体図もそうである。したがって、植生区分図や土地利用区分図などもメッシュデータのサイズに合わせてグリッド化することが望ましい。その場合の表現形式として、タイルポリゴン²⁷が提唱されている。これは方形のポリゴンであり、各種の森林情報を属性情報として登録することができる。

レーザー計測によって得られた森林情報は、利用しやすいように加工して「見える化」とするとともに、日本全土についてデータベース化して、研究用の森林情報として公開すべきである。なお、日本全域の森林に関するデータとしては、林野庁の森林生態系多様性基礎調査のデータと環境省の「モニタリングサイト1000（重要生態系監視地域モニタリング推進事業）」のデータがあり、公開されている。これらの国家レベルの調査事業のさらなる強化やオープンデータ化などの措置が必要である。

(2) 森林資源の持続的な循環サイクルの形成による地方創生

気候変動等に伴う災害リスクの増大に備えて、適応策を実施し、EbAやEco-DRRによって国土の強靱化を図るとともに森林が有する公益的な機能を確保することは喫緊の

課題である。しかし、それには費用もかかる。そこで、林業による森林の適正管理など、市場原理による森林管理を出来る限り導入することも考えなければならない。

戦後の拡大造林の結果、人工林は約 1,000 万 ha 造成され、その蓄積は今や 30 億 m^3 を越えており、毎年の成長量は約 8,000 万 m^3 であって、現在の我が国の木材需要に匹敵する。輸入材に対抗して国内林業を成長産業として復興させるには、徹底したコスト管理と経営戦略が必要である。2016 年 5 月には、新たな森林・林業基本計画が閣議決定された。これは、林業及び木材産業の成長産業化等による地方創生、並びに、地球温暖化対策及び生物多様性保全等への貢献を目的としたものであって、①資源の循環利用による林業の成長産業化、②原木の安定供給体制の構築、③木材産業の競争力強化と新たな木材需要の創出、を取り組むべき課題として掲げている。

林業については、1,000 万 ha の人工林のうち経済林の対象となるのは 3 分の 2 程度と見込まれており、残りは針広混交林へと誘導して公益的な役割を高める方針である。経済林については、面的なまとまりを目指して集約化を進め、スケールメリットが活かせる森林経営を構築するとともに、素材生産と流通の一体化を図るとしている。これらの政策に加えて、森林 GIS のクラウド化を図るとともに、木材のサプライチェーン（SC）の構築など、高度情報化時代に対応することも必要である。木材の利用については、新たな木材需要の創出と木質バイオマス利用の拡大を目指している。ナノセルロースに代表される高付加価値的な用途の開発から、木質バイオマスの燃材としての利用に至るまで、木材を余すところ無く有効に利活用できる体制を構築しなければならない。

林業や木材業における新たな動きを地方創生に結びつけていくためには、まず、それぞれの地域において持続的に利用できる木質資源量を把握しておかねばならない。次に重要なのは、それぞれの地域における新たな社会システムの構築である。山村振興法に基づき指定された「振興山村」では、木材について、付加価値のある材料としての利用を地域内で推進できるかどうか鍵になる。一方、地域の資源を地域の利益として還元する仕組みを構築することも重要である。木質バイオマスエネルギーによる地域熱供給は、化石資源の利用削減効果と地域資本の外部流出防止効果がある。主伐とその後の再造林を並行して進める森林資源の持続的な循環サイクルの形成、そして、木材の材料としての利用とエネルギー利用の共存化・最適化が、地方創生に向けた大きな課題である。

以上の本報告の内容は、次の様にまとめることができる。

日本は国土の 3 分の 2 が森林に覆われている。しかし、森林が様々な問題に直面し変化していることはあまり知られていない。また、そうした森林の現状を示す科学的なデータも十分には得られていない。気候変動という地球規模の環境変化が起きている中で、森林を保護・保全し、人工林については間伐を積極的に推進し、森林資源を持続的に利用する仕組みを構築することは、地方創生にも結びつく課題である。高度な情報技術を活用することによって、森林の現状を知り、環境と森林の将来を予測しながら、順応的に森林を管理して、その恵みを享受していくことが重要であるが、そのための科学的な知見を集積し、技術開発をしていくとともに、柔軟性をもって最善の策を講じていくことが森林・林業・木材業に関わる者の使命である。

<用語の説明>

※出現順

1) 地球温暖化（ちきゅうおんだんか）

二酸化炭素等の温室効果ガスの増加に伴い、地球上の平均気温が上昇を続けており、地球温暖化(global warming)への懸念が強まっている。森林は、その生息適地について地球温暖化の影響を直接的に受ける。

2) 気候変動（きこうへんどう）

地球規模での平均気温の上昇は、降水量や積雪量の変化、台風の巨大化等のさまざまな気候変動(climate change)をもたらしつつある。森林は、豪雨による山地災害や台風による風倒などの気候変動に伴う異常な自然現象に被災するなどの影響を受ける。

3) 適応策（てきおうさく）

地球温暖化防止に向けた対策の一つ。気候変動に対して自然生態系や社会・経済システムを調整することにより温暖化の悪影響を軽減する、または、温暖化の好影響を増長させる対策のことを、適応策(adaptation)という。

4) 緩和策（かんわさく）

地球温暖化防止に向けた対策の一つ。地球温暖化の原因物質である温室効果ガスの排出量を削減する、または植林などによって吸収量を増加させる対策のことを、緩和策(mitigation)という。

5) 間伐（かんばつ）

成長に伴って混みすぎた林の立木の一部を抜き伐りすること。伐採することで立木本数密度が疎になり、残った立木の肥大成長が促されるとともに、太陽光が森林内に入るようになって下層植生の成長も促され、森林全体が健康になる。

6) 固定価格買取制度（こていかかくかいとりせいど）Feed-in Tariff : FIT

地球温暖化への対策や多様なエネルギー源の確保などを目的として、再生可能エネルギーの買い取り価格（タリフ）を法律で定める方式の助成制度のこと。日本では、太陽光、風力、地熱、水力、バイオマスが助成対象になっている。未利用木材、一般木材、リサイクル木材の燃焼によって発電された電気が、各々定められた固定価格で電力会社に買い取られている。

7) 耐火集成材（たいかしゅうせいざい）

大規模木造建築への利用を目的として開発された耐火性にすぐれた集成材。

8) 直交集成板（ちょっこうしゅうせいばん）

板を並べて一枚の層を構成し、その層を直交させて積層接着した集成加工材料。欧州で開発され、日本に導入された。

9) 生態系サービス（せいたいけいさーびす）

人類が生態系から得られる恵みのこと。例えば、淡水、木材、気候の調節、自然災害からの防護、土壌浸食の抑制、レクリエーションの場などが含まれる。

10) 水ストレス（みずすとれす）

植物から水が失われることにより起こるストレスのこと。水ストレスに曝された植物では、気孔の閉鎖、光合成の低下、植物ホルモンのアブシジン酸(ABA)の合成、伸長成長の抑制などの生理的応答が生じる。

11) 高木限界（こうぼくげんかい）

高緯度地域や高山では、寒冷や乾燥のため、それよりも標高の高いところでは高木が生育できなくなる限界があり、それを高木限界という。

12) 送粉（そうふん）

昆虫、鳥、風、水などが、花粉を雌しべの柱頭又は胚珠へ運ぶこと。

13) 林分（りんぶん）

樹種・樹齢・生育状況及び森林の形態や様相がほぼ一様で、隣接のものとは区別される一筆の森林のことであって、森林を管理する場合の基本単位となる。

14) ハーベスタ harvester

立木を収穫する際に必要な伐倒、枝払い、玉切、集積の一連の作業を一貫して一台で行う多工程処理型車両系機械。立木をつかむ、チェーンソーで切断する、枝を切り払う、長さを測定して切るといった一連の動作が可能。

15) スイングヤーダ swing yarder

主索を用いない簡易索張方式の架線に丸太を吊り下げて集材する車両系機械であって、作業中に旋回可能なブームを装備している。建設用ベースマシンに集材用ウインチを搭載し、アームをタワーとして使用している。

16) タワーヤーダ tower yarder

本格的な索張方式の架線に丸太を吊り下げて集材する移動可能な集材機であつ

て、簡便に索張りができるように集材用タワー（人工支柱）を搭載している。急傾斜地での比較的長い距離の集材に向いている。

17) 地利（ちり）

いわゆる地の利のことであって、土地の位置や地形が林業をするのに有利かどうかの程度を示すもの。特に、伐採した木材を搬出する場合等の経済的な有利さの程度を示すもの。

18) 森林簿（しんりんぼ）

森林を管理する場合に基礎となる帳簿であって、林分毎に、所在、所有者、森林、法規制等に関する現況情報が登録され、データベース化されたもの。都道府県が管理している。

19) 森林蓄積（しんりんちくせき）

立木の幹の部分の体積を林分全体の立木について合計したもの。

20) 林分密度管理図（りんぶんみつどかんりず）

各成育段階の ha 当たりの立木本数と ha 当たりの幹材積合計との関係を両対数目盛の一枚の図に表したもの。地域別、樹種別に作成されている。「等平均樹高曲線」と呼ばれている上層木平均樹高を表す曲線群が描かれているので、該当する林分の上層木の平均樹高と ha 当たりの立木本数が分かれば、その林分の ha 当たりの幹材積合計を読み取ることができる。この図を利用することによって、最多密度の場合に対する材積比も読み取れるので、林分の立木密度管理の状態について評価ができるとともに、それを指針にして間伐計画を作成することができる。

21) 区分求積法（くぶんきゅうせきほう）

樹木の幹の体積を求める際に、幹を近似的に円柱等の単純な図形の集合に分割し、分割した個々の図形の体積を合計することによって幹全体の体積を求める方法。

22) カスケード利用（かすけーどりよう）

バイオマス資源やエネルギーを利用すると品質が低下するが、品質低下した資源やエネルギーを廃棄しないでその品質に応じて多段的（カスケード的）に利用し、資源として最大限有効利用すること。

23) バイオリファイナリー研究（ばいおりふぁいなりーけんきゅう）

再生可能資源であるバイオマスを原料として、バイオエタノールなどの燃料や、工業原料など有用化学品の製造に関する技術研究

24) 懸濁態（けんたくたい）

一般に孔径 0.45~1 μm のフィルターを通過しない成分を、懸濁態（または粒子性）という。

25) 溶存態（ようぞんたい）

一般に孔径 0.45~1 μm のフィルターを通過する成分を、溶存態（または溶解性）という。

26) 心材（しんざい）

樹木の材の中心に近い、濃い色の部分。水分が少なく抽出成分等により赤・褐色などの樹種特有の色をもち、耐久性に富む。

27) 辺材（へんざい）

樹木の材の周辺部の白味があった部分。心材の外側を取り囲む部分。樹液分が多く、腐朽しやすい。

28) タイルポリゴン（たいるぽりごん）

緯度経度の座標値に基づいた規則的な区画を「標準地域メッシュ」といい、第1次メッシュは、東西方向が1度、南北方向が40分の区画であって、約80km四方のメッシュである。20万分の1の地形図に対応する。第2次メッシュは、約10km四方、第3次メッシュは約1km四方のメッシュである。これをさらに細かくしていった50m四方や10m四方のメッシュが地形等を表現するメッシュとして使われている。このメッシュで表現される区画を、GIS（地理情報システム）のベクターデータに変換したものがタイルポリゴンであり、メッシュポリゴンともいう。なお、ポリゴンとは多角形を意味する。メッシュではなくタイルポリゴンとすることにより、そのポリゴンの属性データが登録できるようになる。

<参考文献>

- [1] 鮫島正浩 (2017) 森林資源と木材の利用推進により次世代を築く. 全国林業試験研究機関協議会会誌 50 : 18~25
- [2] 農林水産省、「森林・林業再生プラン ～コンクリート社会から木の社会へ～」. 7pp
2009 年 12 月 25 日
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/saisei/pdf/saisei-plan-honbun.pdf>
- [3] 日本学術会議、答申「地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について」、2001 年 11 月 1 日
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/shimon-18-1.pdf>
- [4] 田中和博 (2017) 地球温暖化世紀における精密森林管理の必要性和林業試験研究に期待する役割. 全国林業試験研究機関協議会会誌 50 : 1~17
- [5] 森林環境研究会 (2015) 森林環境 2015 特集 進行する気候変動と森林 ～私たちはどう適応するか. 188pp, 森林文化協会, 東京.
- [6] 日本学術会議、農学委員会林学分科会 (2016) 「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」配付資料. 8pp
- [7] 玉井幸治 (2016) 日本学術会議公開シンポジウム「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」の概要. 木材工業 71(12) : 545~548
- [8] 対流圏オゾン冊子編集委員会 (2005) 増えつづける対流圏オゾンの脅威. 26pp, 酸性雨研究センター, 新潟市
- [9] 伊豆田 猛 (2016) 「植物に対するオゾン、酸性降下物及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.
- [10] 伊豆田 猛 (2016) 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. 日本学術会議農学委員会林学分科会「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」配付資料 : 5~6
- [11] 中静 透 (2016) 気候変動が森林に及ぼす生物関連リスクと適応策. 日本学術会議農学委員会林学分科会「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」配付資料 : 2
- [12] 気象庁 (2015) 気候変動監視レポート 2014. 70pp,
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/>
- [13] 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. 431pp,
<http://www.env.go.jp/press/upload/upfile/100480/27462.pdf>
- [14] 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) . 14pp,
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/pdf/ryuukanmatome.pdf>
- [15] 日本学術会議、統合生物学委員会・環境学委員会合同 自然環境保全再生分科会、提言「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」、2014 年 9 月 19 日
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t199-2.pdf>

- [16] 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) ―. 75pp,
http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_wg2_overview_presentation.pdf
- [17] 坪山良夫 (2016) 極端気象と山地災害リスク. 日本学術会議農学委員会林学分科会「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」配付資料: 3~4
- [18] 重永英年 (2016) 気候変動に対応した森林資源管理の適応技術開発. 日本学術会議農学委員会林学分科会「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」配付資料: 7~8
- [19] 日本木材学会編 (2015) 「木の時代」は甦る. 210pp, 講談社, 東京
- [20] 日本森林学会 (2017) 「木質バイオマス利用の現状と将来」講演要旨集. 6pp
- [21] 太田 健一郎・瀬川 浩司 (2016) 我が国の再生可能エネルギー利用拡大に向けて 日本学術会議エネルギー供給問題検討分科会平成 26 年 9 月 26 日中間報告書より. 学術の動向 Vol. 21 No. 4 : 10~21
- [22] 日本学術会議 農学委員会林学分科会 (2016) 「森林科学の未来を語る (その1) セルロースナノファイバーの可能性を探る」配付資料. 4pp
- [23] 日本学術会議、農学委員会林学分科会、報告「福島原発事故による放射能汚染と森林、林業、木材関連産業への影響 ― 現状及び問題点 ―」、2014 年 9 月 1 日
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-h140901.pdf>
- [24] 藤井一至 (2017) 土壌中における放射性セシウムの移動・吸着プロセス. 水利科学 354 : 45~53
- [25] 金子真司 (2017) 森林における放射性物質の特集・シリーズ化にあたって. 水利科学 354 : 1~2
- [26] 小松雅史 (2017) 放射性セシウムの森林内への初期沈着. 水利科学 354 : 3~18
- [27] 金子真司 (2017) 森林内での放射性セシウムの樹木から土壌への移動について. 水利科学 354 : 32~44
- [28] IAEA (2015) The Fukushima Daiichi Accident (福島第一事故) . Technical Volume 4/5 Radiological Consequences, 250pp
- [29] 林野庁 (2017) 平成 28 年度 森林内の放射性物質の分布状況調査結果について. 13pp
http://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/jyosen/H28_jittaihaaku_kekka.html
- [30] 森林総合研究所 「森林と放射能」
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/rad/index.html>
- [31] Nakanishi, Tomoko M., Tanoi, Keitaro (2016) Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident The First Three Years. (福島原子力発電所事故がもたらす農畜水産物等への影響 最初の3年間) 263pp, Tokyo: Springer Japan.
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/shimon-18-1.pdf>
- [32] IAEA (2006) Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience (チェルノブイリ事故の環境影響とその修復: 20 年間の経験) . Report of the Chernobyl Forum Expert Group

'Environment', Radiological Assessment Reports Series. 166pp

- [33] 篠宮佳樹（2017）台風に伴う増水時の溪流水を通じた放射性セシウムの流出. 水利科学 354 : 19～31
- [34] 高野 勉（2017）樹皮を含む木材への放射性セシウムの移行と材内部での挙動. 水利科学 355: 1～12
- [35] 長倉淳子・安部 久・張 春花・高野 勉・高橋正通（2016）放射性セシウム沈着量の異なる林分から採取したスギの葉と材のセシウム、ルビジウム、カリウム含有量. 森林立地 58 (2), 51-59

＜参考資料１＞審議経過

平成２７年

１月２２日 農学委員会 林学分科会（第１回）

分科会役員の選出、22 期の引継ぎ事項の確認と 23 期の活動方針について、「学術の動向」への投稿について

９月 ４日 農学委員会 林学分科会（第２回）

「学術の動向」への特集号１の進捗、林学分野の大型研究計画に関するシンポジウムの開催計画について

平成２８年

２月１９日 農学委員会 林学分科会（第３回）

公開シンポジウムの開催、林学分野の大型研究計画に関するシンポジウムの開催計画について

７月２７日 農学委員会 林学分科会（第４回）

公開シンポジウムの開催、林学分野のマスタープラン「学術大型研究計画」について

１２月１４日 農学委員会 林学分科会（第５回）

分科会提言（報告）案について

平成２９年

５月２９日 農学委員会 林学分科会（第６回）

報告等の発信、第２３期分科会活動の総括について

○月○日 日本学術会議幹事会（第○○○回）

報告「持続可能な林業・林産業の構築に向けた課題と対策」の承認

＜参考資料２＞シンポジウムの開催

1. 日本学術会議公開シンポジウム

「森林科学の未来を語る（その１） セルロースナノファイバーの可能性を探る」

日時：平成28年2月19日（金）13：30～17：00

場所：日本学術会議講堂

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

[講演]

植物で車を創るー ナノセルロース材料のポテンシャルと課題ー

矢野浩之（京都大学生存圏研究所教授）

完全ナノ分散化木材セルロースナノファイバーの構造と機能

磯貝 明（東京大学大学院農学生命科学研究科教授）

木質バイオマス成分リグニンの利活用を目指した機能化

浦木康光（北海道大学大学院農学研究院教授）

ナノセルロースを軸としたバイオマスリファイナリー技術の展開

遠藤貴士（産業技術総合研究所機能化学 研究部門研究グループ長）

今後のナノセルロース研究に期待するもの

飯塚堯介（日本学術会議連携会員、

東京大学名誉教授・東京家政大学客員教授）

[パネルディスカッション]

コーディネーター

川井秀一（日本学術会議第二部会員、

京都大学大学院総合生存学館（思修館）学館長・特定教授）

2. 日本学術会議公開シンポジウム

「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」

日時：平成28年7月27日（水） 13：30～17：00

場所：日本学術会議講堂

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

〔基調講演〕

気候変動が森林に及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〕

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〕

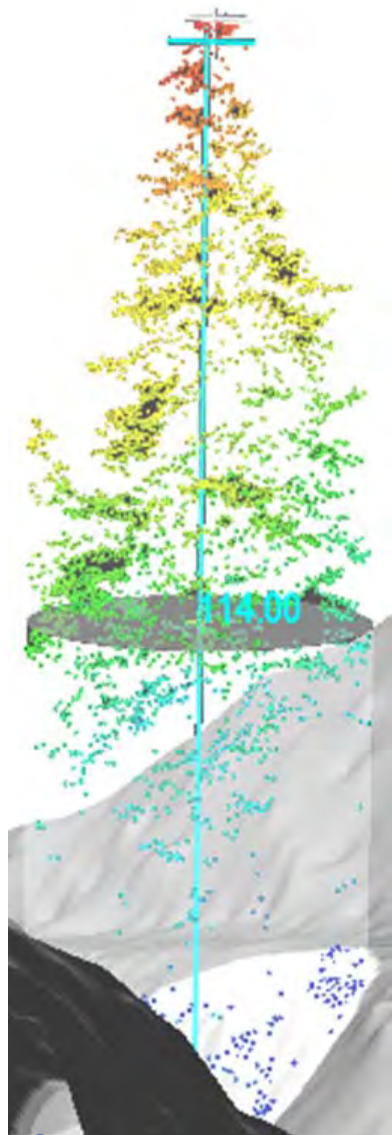
モデレータ

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

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・副学長）

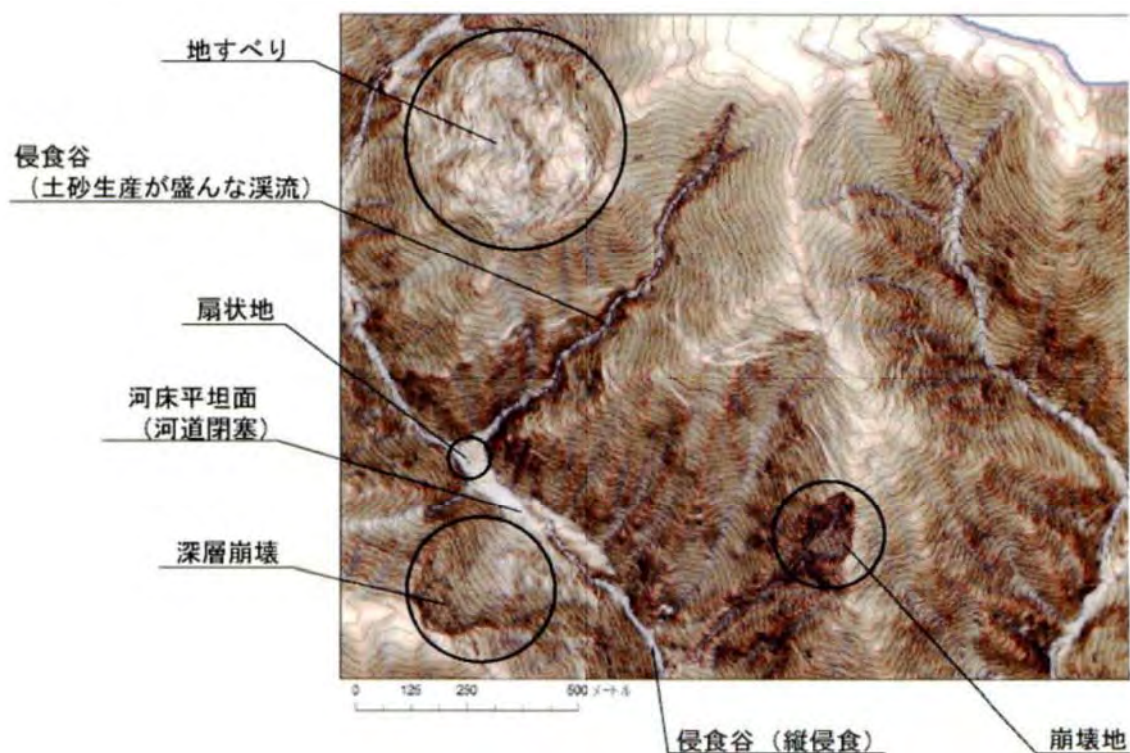
<付録>参考図



○参考図1 LiDAR データが捉えたスギ大径樹の形状（本文9ページ関連）

航空機から近赤外線レーザーを地表に向かって連続照射し、その時の飛行物体の位置と反射したレーザーが返ってくるまでの時間を解析すれば、3次元の点群データが得られ、それらのデータを解析することにより、地表面や地物表面の高さと位置座標を計測することができる。この技術はLiDAR（Light Detection And Ranging）とも呼ばれている。

LiDAR データを解析することにより、大きな立木であれば、1本1本の立木の樹高や樹冠幅、枝下高等を計測することができる。この図は、林野庁近畿中国森林管理局 南禅寺山国有林内のスギの大径樹「大杉大神」（樹高43m）の樹形を表したものである。図の下半分の灰色の部分 は地表面の凹凸を表している。



○参考図2 CS立体図を用いた微地形の判読例（本文 10 ページ関連）

『長野県型立体地形図＝CS 立体図』を用いた
林内路網の路網配置検討手順（2014）より

1 mメッシュ以下の細密な DEM があれば、CS 立体図を比較的容易に作成することができる。CS 立体図とは、DEM から曲率（Curvature）と傾斜（Slope）を計算し、標高レイヤ、曲率レイヤ、傾斜レイヤに指定した色を割り当てることによって作成されるものであって、微地形の特徴を直感的に判読することができ、崩壊危険箇所等の抽出に応用できるものである。この図から、地すべり、侵食谷、扇状地、崩壊地などが読み取れる。こうした情報は、今後、林道・作業道を新規に開設する場合に必要なものである。なお、CS 立体図は、長野県林業総合センターによって開発された。

提言等の提出チェックシート

このチェックシートは、日本学術会議において意思の表出（提言・報告・回答、以下「提言等」という）の査読を円滑に行い、提言等（案）の作成者、査読者、事務局等の労力を最終的に軽減するためのものです。

提言等（案）の作成者は提出の際に以下の項目をチェックし、提言等（案）に添えて査読時に提出してください。

	項目	チェック
1. 表題	表題と内容は一致している。	1. はい
2. 論理展開 1	どのような現状があり、何が問題であるかが十分に記述されている。	1. はい
3. 論理展開 2	特に提言については、政策等への実現に向けて、具体的な行政等の担当部局を想定していますか（例：文部科学省研究振興局等）。	2. 報告であり、特に無い
4. 読みやすさ 1	本文は 20 ページ（A4、フォント 12P、40 字×38 行）以内である。 ※図表を含む	1. はい
5. 読みやすさ 2	専門家でなくとも、十分理解できる内容であり、文章としてよく練られている。	1. はい
6. 要旨	要旨は、要旨のみでも独立した文章として読めるものであり 2 ページ（A4、フォント 12P、40 字×38 行）以内である。	1. はい
7. エビデンス	記述・主張を裏付けるデータ、出典、参考文献をすべて掲載した。	1. はい
8. 適切な引用	いわゆる「コピペ」（出典を示さないで引用を行うこと）や、内容をゆがめた引用等を行わず、適切な引用を行った。	1. はい
9. 既出の提言等との関係	日本学術会議の既出の関連提言等を踏まえ、議論を展開している。 日本学術会議、農学委員会林学分科会、報告「福島原発事故による放射能汚染と森林、林業、木材関連産業への影響－現状及び問題点－」ほか	1. はい
10. 利益誘導	利益誘導と誤解されることのない内容である。	1. はい
11. 委員会等の趣旨整合	委員会・分科会の設置趣旨と整合している。	1. はい

※チェック欄で「いいえ」を記入した場合、その理由があればお書きください
これまでに関連する提言等は発出されていない。

記入者（委員会等名・氏名）：農学委員会・川井秀一

参考：日本学術会議会長メッセージ、「提言等の円滑な審議のために」（2014 年 5 月 30 日）。