



令和3年度
森林総合研究所四国支所 公開講演会講演要旨集

四国の森のつくりかた

－森をはぐくむ土と水－



2021年12月 YouTube「森林総研チャンネル」による動画配信

令和3年度 森林総合研究所四国支所 公開講演会

四国の森のつくりかた

－森をはぐくむ土と水－

開会によせて

岡 輝樹（森林総合研究所四国支所長）

<講 演>

「四国の地質と環境変遷史」

岩井 雅夫（高知大学海洋コア総合研究センター教授）

長谷川 精（高知大学理工学部地球環境防災学科講師）

「四国における土の特性値マップ」

山下 尚之（森林総合研究所立地環境研究領域土壌資源研究室主任研究員）

「おいしい水を育む森林」

稲垣 善之（森林総合研究所四国支所森林生態系変動研究グループ主任研究員）

「四国のもりのうつろいと人の関わり」

志知 幸治（森林総合研究所四国支所森林生態系変動研究グループ主任研究員）

四国の地質と環境変遷史

—四国の地形・地質とジオパーク—

高知大学海洋コア総合研究センター

岩井 雅夫

四国は、北に広がるユーラシア大陸プレートと、南に広がるフィリピン海プレートの境界部に位置し、四国山地に代表されるように東西に山々が連なった地形が特徴的である。この地形に沿って、1億年以上の年月をかけて作り出された地質帯が帯状に分布しており、多様な植生・生態系が育まれてきた。

1. 四国の地形・地質

日本列島は糸井川・静岡構造線を境に東北日本弧と西南日本弧に区分され、西南日本弧は中央構造線を境に太平洋側の外帯と瀬戸内・日本海側の内帯に区分される（cf.太田ほか，2004）。二つの構造線は、1600 万年前頃の急激な日本海拡大（観音開き：Otofuji et al., 1985）と、プレートの斜め沈み込みに伴った横ずれ断層帯（山北・大藤，2000;田沢，2004）に起因する。四国はさらに東西性の御荷鉾構造線（上八川・池川構造線）・仏像構造線等により分断され、北から内帯の領家帯、外帯の三波川帯・秩父累帯・四万十帯に区分される。領家帯は三畳紀～ジュラ紀の花崗岩や白亜紀の浅海堆積物、三波川帯・秩父帯・四万十帯は、それぞれ主に～ジュラ紀，白亜紀前期，白亜紀後期～古第三紀の付加体堆積物である（須鎗ほか編，1991）。

付加体とは、海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む際、海洋プレートの上部が一部削りとられて、海溝堆積物と共に大陸プレート側に付加した地質体のことで、複雑な変形構造を有する。南海トラフ陸側斜面付加体中に発達する分岐断層（逆断層）は、南海地震や隆起・構造線の起源として注目されるが、その起源は 195 万年前まで遡る（Strasser, et al., 2009）ことなどが、近年の掘削研究で明らかにされてきている。

南海トラフではフィリピン海プレートがトラフ軸にやや斜交しながら沈み込んでいる。南海地震発生時には室戸・足摺岬は隆起、高知中央部は沈降するという傾動運動が生じ、隆起地域では海岸段丘が、沈降地域では沈水地形（リアス式海岸）が発達する。顕著な隆起は急峻な四国山地を生み出し、不均質な付加体堆積物とあいまって、植生や風水害などに少なからぬ影響を与えている。

2. 大地の公園ジオパーク

ジオパーク（大地の公園）とは、地質学的な価値を持つ自然遺産を保護、研究・教育・ツーリズムなどに活用することで地域の持続可能な開発を進めることを目的としたもので、住民参加型の持続可能地域創生活動である。室戸ジオパークは、四国唯一のユネスコ世界ジオパークとして、地殻変動（大地の隆起）が育んだ大地・自然・文化を実感し、地震・津波・風水害と向き合いながら「変動帯に生きる」ことをテーマとしている。土佐備長炭で繁栄した吉良川の街並み（国の重要伝統的建造物群保存地区）は、地形・植生・風土との共存に成功した文化的ジオサイトの好例となっている。

四国の地質と環境変遷史 —東アジア地域の環境・植生変遷史—

高知大学理工学部地球環境防災学科

長谷川 精

地球温暖化により、世界の平均気温が約 80 年後の 2100 年には最大で約 4℃、2200 年には約 7.5℃も上昇するという予測が IPCC によってなされている（IPCC 第 5 次報告書）。最近の夏の猛暑や相次ぐ豪雨災害によって、温暖化に伴って地球の環境や気象が大きく変わりつつあることが、日々の生活でも感じるようになってきたと思われる。温暖化に伴う地球環境の激変で、日本を含む東アジア地域に特に影響を及ぼすものに、台風強度の増大や偏西風の蛇行が挙げられる。また東アジア地域の環境や植生に近い将来大きく影響を及ぼす可能性があるものに、シベリア永久凍土の融解がある。永久凍土の融解は、凍土中に含まれるメタンガス（二酸化炭素の約 20 倍の温室効果を持つ）が大気中に排出されることにより、更なる温暖化の進行を誘発することが危惧されている（Lenton *et al.*, 2019）。地球温暖化に伴って世界各地の気候帯分布がどのように変わるのかについては、気候モデルシミュレーションに基づく予測もなされている（例えば Beck *et al.*, 2018）。しかし、本講演会の主題である森林や植生の分布がどのように変わるかの予測はまだ難しく、気候モデルシミュレーションに基づく植生分布変化の予測は未だほとんど示されていない。そのため、私たちは過去の同程度の気候変化が起こった際の古環境記録を調べることにより、温暖化に伴う環境や植生変遷の予測を試みている。具体的には、モンゴルやロシア南部の湖底堆積物を対象として、堆積物中に含まれる花粉の群集変化を調べることにより、最終氷期以降の急激な気候変化に対する東アジア地域の環境や植生変遷を復元する研究を進めている。

研究対象の一つであるモンゴル北部のサンギンダライ湖の例を紹介すると、同地域は北部に広がるシベリア永久凍土帯と、南部のゴビ砂漠の境界部に位置し、気候変動に対して極めて鋭敏な地域である。私たちは、サンギンダライ湖の湖底堆積物中に含まれる花粉群集および元素組成の変化から、現在は森林ステップで特徴付けられる同地域の植生と環境が、最終氷期から完新世にかけてどのように変化したかの復元を試みた。花粉分析の結果、最終氷期にはヨモギ属などの草本花粉が占有し、ステップ植生および砂漠植生が卓越していたのに対し、完新世にはマツ属などの樹木花粉が増加し、相対的に湿潤なステップおよびタイガ植生へと変化したことが明らかになった。この結果を、ロシア南部（コトケル湖; Shichi *et al.*, 2009）やモンゴル南部（オログ湖; Yu *et al.*, 2017）の花粉データとも比較して広範囲な植生変遷を復元した結果、最終氷期にロシア南部及びモンゴル北部は凍土凍結により乾燥環境であったが、完新世では温暖化に伴う凍土融解により湿潤環境に変わっていったことが明らかになった。一方で、モンゴル南部では最終氷期は不連続永久凍土帯に位置することから湿潤環境であったが、完新世では温暖化に伴う凍土消失によって乾燥環境に変わっていったことが明らかになった。これらの結果は、O'ishi & Abe-Ouchi (2013)の植生結合気候モデルシミュレーションの結果とも整合的であった。以上のことから、地球温暖化によって永久凍土の融解・消失と砂漠帯の北上によって、東アジア内陸域（モンゴル北部～シベリア南部）は現在よりも乾燥した砂漠やステップの環境が広がり、森林植生が減少する可能性が示唆された。

四国における土の特性値マップ

森林総合研究所立地環境研究領域
土壌資源研究室 山下 尚之

1. 土の特性値マップの必要性

近年、花粉飛散、豪雨、土砂災害リスクなど、様々な数値（特性値）の「マップ」による情報を目にする機会が増えているが、実は森林の土についても同様のマップが作られている。これは降水量のようなある特定の物理化学量、例えば土の「温度」「水分」「厚さ」「炭素」「酸性度」といった特性値の分布を示すマップである。ここ数年、気候変動による作物・樹木成長の予測や防災に関するハザードマップなどに対するニーズが一層高まっており、「土の特性値マップ」はこうした将来予測モデルにおける重要な基盤情報としての役割が注目されつつある。

2. 土の特性値マップの作り方

さて、こうしたマップはどのように作成されるのだろうか？住宅地図のように地上にあるものが対象であれば人が歩いて測量・観察して作成することが可能だが、土壌の場合、表面をみただけで得られる情報は限られている。そのため、基本的にはその場で土を掘るしかない。例えば「土の炭素」の場合、実際に森林の中で穴を掘って深さ別に土を採取し、実験室に運搬して分析機器で炭素濃度を測定する必要がある（写真1）。「土の厚さ」であれば、現場で土壌強度検査棒や簡易貫入試験器によってその場で測定する。この際、できるだけ精度の高いGNSS（GPS）機器で位置情報（緯度経度）の測位を行う必要がある。

こうして様々な場所における位置と特性値の情報を得ることができるが、これは「点」のデータであることに留意する必要がある。一般的な特性値マップにみられるような塗りつぶされた「面」のデータではない。したがって、ここでデータを「点」から「面」に展開するための工夫が必要になる。これには様々なアプローチがあるが、近年よく用いられているのが、土壌生成因子を用いた推定である。土壌学の分野では、土壌が「気象」「地形」「母材」「生物」「時間」といった複数の因子によって規定されて数百～数千年のオーダーで生成することが古くから知られている。つまり、こうした土壌生成因子の違いが土の空間的な多様性（マップ）を生んでいると言える。具体的には、土壌の採取・測定を行っていない「未測定地点」において、既に「面」としてのマップが存在する降水量・気温・地形・地質といった因子から特性値を推定するモデル（回帰式）を作成する。特に、近年の飛躍的なAI（機械学習）技術の発展と、航空機・衛星リモートセンシング等による高精細な地理空間情報の拡充が、土の特性値マップにおける推定精度の向上に著しく寄与してきた。

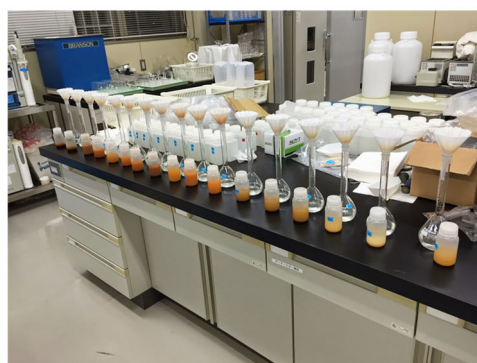


写真1 土の特性値マップに必要な土壌の採取（上・中）と分析（下）の様子

3. 四国における土の特性値マップ

本講演会では、例として林野庁森林吸収源インベントリ情報整備事業で実施された「土の炭素（濃度と貯留量）」「土の密度」「土に占める石の割合」に関するマップ作成を紹介する。本事業では全国の約 2400 地点（四国の 142 地点）で土壌を採取（図 1）し、上述の特性値を 0-30 cm まで測定した。その後、前項の推定手法を用いてマップを作成した（図 2）。

このマップによれば、全国平均と比較して四国地方の土の炭素濃度は一部の高標高地域を除いてやや低いレベルにあった。土の密度は讃岐・松山・今治平野周辺を除いて全体的に低く、反対に土に占める石の割合は全体的にかなり高かった。その結果、土に貯留される炭素量が四国地方では少ないことが推定マップから明らかであった。一方、剣山周辺や久万高原などに炭素貯留量が他より高いホットスポットあることも同時に読み取れた。

一般に気温が高くなるほど土壌有機物の分解が進むため、温暖な四国で炭素濃度が低くなっていた可能性がある。また、火山灰の影響下にあるほど炭素の貯留能力が高まるため、火山のない四国ではこれも炭素量を低下させる要因であったと考えられる。一方、四国地方の地質では付加体が広く分布して堆積物のメランジュ構造が発達しており、これが急峻な山地部の地形発達をもたらしたために、崩落・再堆積によって土に含まれる石の量が多くなったと推察された。これらの議論からも、四国の土の特性値が気象・地質・地形と非常に密接に関連していることがお分かりいただけるであろう。

今後、様々な土の特性値のマップを作成することにより、こうした様々な地理的特徴や土壌生成因子との関係性が分かりやすく可視化されることが期待される。また、炭素マップの例からは、四国には剣山周辺や久万高原などに炭素貯留のホットスポットあり、こうした地域では「土壌管理に特に留意する必要性」を読み取ることもできる。すなわち、これらのマップは市町村レベルでの様々な政策決定にも役立つ可能性を秘めている。四国の土は空間的に多様である。今後もこうした「土の多様性」に着目した上で、四国地方の山地・丘陵地の森林における土壌資源の利用法を注意深く探っていく必要があるだろう。



図1 林野庁森林吸収源インベントリ情報整備事業における四国の土壌サンプリング地点

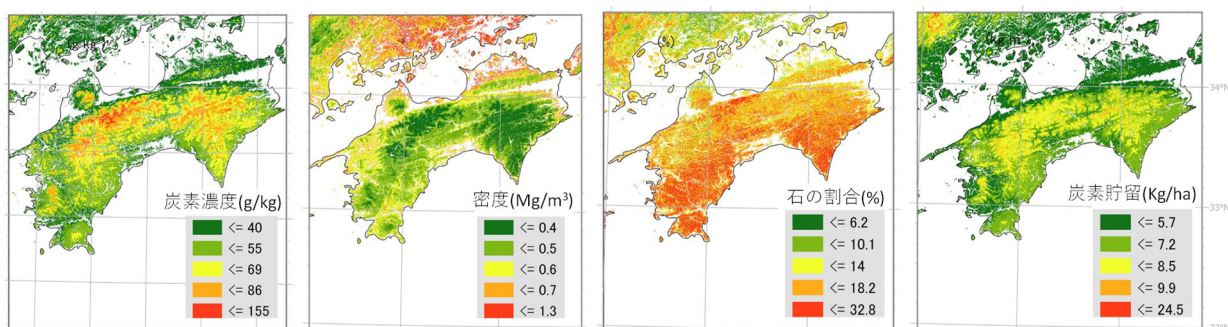


図2 推定された四国における土の特性値マップの例（炭素濃度、密度、石の割合、炭素貯留）

おいしい水を育む森林

森林総合研究所四国支所

森林生態系変動研究グループ 稲垣 善之

1. おいしい水の条件

人が生きていくためには、十分な水分補給が必要です。私たちは毎日水を飲んだり、料理に使ったりします。今回の発表では、森林が育むおいしい水について考えていきたいと思います。おいしい水であるための条件については、多くの要因がありますが、今回は主に3つの性質に注目します。1つめは、酸性度はほぼ中性であり、pHは7に近い値であることです。2つめは、適度なミネラル（カルシウムやマグネシウム）を含むことです。3つめは、有害な物質が少なく、水質基準を満たすことです。つまり、様々な物質をバランスよく含み、安心して飲むことができる水はおいしい水といえるのではないのでしょうか。

2. 森林の中での水と物質のうごき

私たちが普段利用する水道水は、主に森林流域の河川水や地下水を起源としています。つまり、水道水の水質は、森林生態系のなかでの物質のうごきと深いかかわりがあります（図1）。森林には降水によって様々な物質が供給されます。また、岩石に含まれるカリウムやカルシウムなどの養分物質は風化というプロセスによって、樹木が利用可能なイオンとして供給されます。樹木は、養分物質やその他の物質を根から吸収します。吸収した物質の一部は、落葉・落枝や雨に溶け出すこと（溶脱）によって土壤に供給されます。残りの養分物質は、樹木の幹などに長期間保持されます。樹木に吸収されない物質は、渓流水から流出することになります。まとめると、渓流水の水質は降水、樹木蓄積、岩石風化の影響を受けています。

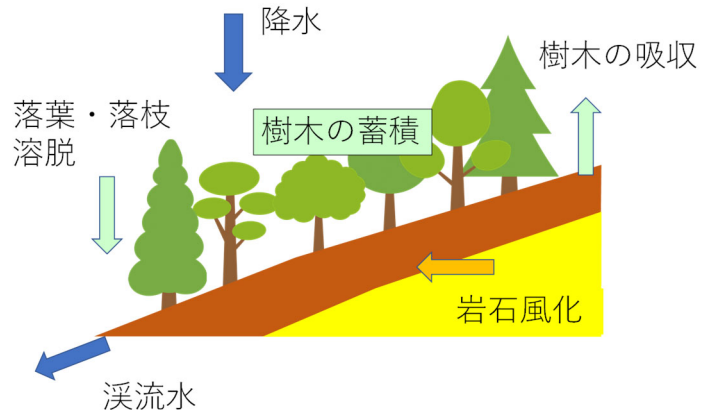


図1 森林生態系における水と物質のうごき

3. モミ天然林の物質のうごき

森林における物質のうごきを観測した研究成果を紹介します。森林総合研究所四国支所では、高知県の四万十川流域の鷹取山試験地（写真1）において20年間にわたって降水による物質の供給と渓流水からの物質の流出を観測しています（酒井ら2019）。この流域では1970年代にモミ天然林の養分循環についての調査が行われました（Ando et al 1977）。これらの研究実績から、森の中の物質のうごきをあきらかにすることができます（稲垣ら2019）。

降水による物質の供給量と、渓流水からの物質の流出量を比較すると、物質によって違いがありました（図2）。カルシウムイオン(Ca^{2+})やカリウムイオン(K^{+})などのミネラル類、硫酸イオン(SO_4^{2-})については、渓流水からの流出量が降水による供給量よりも多くなりました。これらの物質は岩石からの風化によって供給されるため、流出量が多くなりました。

塩化物イオン(Cl^-)については、降水による供給量と溪流水からの流出量が同じ程度でした。塩化物イオンは海水に由来すると考えられています。この物質は、岩石からの供給はほとんどないために、供給と流出がほぼ同じになります。

最後に、水素イオン(H^+)と窒素(N)（アンモニウム態と硝酸態）については、溪流水からの流出量が降水からの供給よりも少なくなりました。降水によって供給された水素イオンは岩石が風化し、カルシウムイオンが生成するときに消費されます。降水の pH の平均値は 5.5 ですが、溪流水では 7.5 になりました。岩石の風化のはたらきで溪

流水は中和されています。窒素については、樹木による吸収量が多くなっています。窒素は樹木の成長にとって最も重要な養分物質であると考えられています。樹木が窒素をバイオマスに保持することによって溪流水からの流出量が低く保たれています。水道水の硝酸態窒素には水質基準が定められています。溪流水の硝酸態窒素の最大値は、水質基準の 1/5 以下であり、水質基準を満たしています。

以上をまとめると、天然モミ林の溪流水はほぼ中性であること、適度なミネラルを含むこと、硝酸態窒素が水質基準以下でありおいしい水の 3 つの条件を満たしています。降水と溪流水を比べると、溪流水のほうがよりおいしい水になっています。したがって、調和のとれた物質循環のはたらきにより、森林の溪流水はおいしい水になるといえます。



写真 1 鷹取山流域

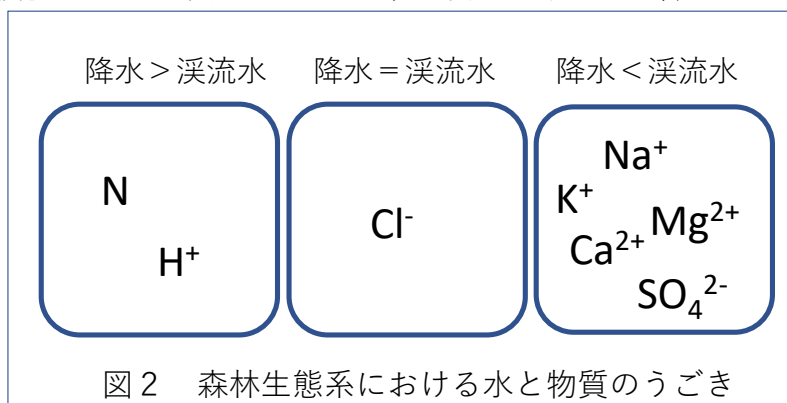


図 2 森林生態系における水と物質のうごき

参考文献

Ando, T., Chiba, K., Nishimura, T. and Tanimoto T (1977) Temperate fir and hemlock forest in Shikoku. In: Shidei, T. and Kira, T (eds) Primary productivity of Japanese forests: Productivity of terrestrial communities JIBP Synthesis Vol16. University of Tokyo Press, Tokyo, pp. 213–245

稲垣善之, 酒井寿夫, 野口享太郎, 森下智陽, 藤井一至 (2019) 四万十川流域モミ天然林生態系におけるプロトン収支. 森林応用研究 28: 1-10

酒井寿夫, 山田毅, 鳥居厚志, 篠宮佳樹, 稲垣善之, 吉永秀一郎, 野口享太郎, 森下智陽 (2019) 四万十川上流の森林流域における 2000 ～ 2015 年の降水と溪流水の水質モニタリング. 森林総合研究所研究報告 18: 129-187

四国のもりのうつろいと人の関わり

森林総合研究所四国支所

森林生態系変動研究グループ 志知 幸治

1. 四国の森林

四国では全面積の 74%が森林に覆われており、その 60%は主にスギやヒノキの人工林である（図 1）。人工林以外では、シイやカシなどの常緑広葉樹林（照葉樹林）が海岸線から標高 1000 m 付近までみられる。標高 1000m を越えるとブナやミズナラを中心とした落葉広葉樹林がみられ、ウラジロモミやツガなどの温帯性の針葉樹が混生する。石鎚山や剣山周辺の標高 1700m 以上にはシラベ、コメツガなどの針葉樹とダケカンバなどが生育する亜高山性の植生が分布する。

現在の森林の分布は、過去長期に渡る造林活動の影響を受けており、特に戦後の拡大造林と呼ばれる政策が行われたことにより大きく変化した（図 2）。では、人の影響が及ぶ以前の四国の森林はどのようなものであったか、また、人がどのように森林を変えていったか、時代を追って紹介する。

2. 過去の気候変動と四国の森林変遷

人の影響が小さかった時代には、気候変動が森林の分布に最も大きな影響を与えていた。始めに過去の気候変動について概説する。深海底およびグリーンランドの氷床から採取された試料の酸素同位体比の変化から、1 万年間程度の短い温暖期（間氷期）とそれより長い寒冷期（氷期）が約 10 万年周期で現れたことが示されている。また、過去 10 万年間では、約 2.5 万年前に最も寒冷化し（最終氷期最寒冷期）、約 1.2 年前から急激に温暖化して現在まで温暖期（完新世）が続いている。酸素同位体比の変化は広域的な気候変動を示しているが、日本近郊の気候変動も類似した傾向にあったと考えられている。

気候変動に対する森林の変遷を調べるためにはどのような方法があるだろうか？植物化石を調べる方法が一般的であり、中でも花粉化石を用いる花粉分析法が最も有効である。花粉は植物の種類によって大きさや形が異なり、植物から大量に生産される。また、花粉は化学的に頑丈な外膜を持ち、湖沼や湿地などの嫌気的な環境下では長期間分解されずに残される。そのため、湖沼などにたまった泥を採取・分析することで、過去の森林を復元することができる。

最も寒冷であった最終氷期最寒冷期では、花粉や植物化石の産出状況を基に、地域ごとに寒冷化が異なっていたことを加味した植生図が描かれている。それによると、四国山地全域に亜寒帯針葉樹林が拡大し、それ以外の平野部ではモミ、ツガなど温帯性の針葉樹林が優勢であった。ブナやコナラ亜属（ナラ類）と温帯性針葉樹林の混交林は四国南部のごく一部に存在し、照葉樹林は四国周辺で優勢だった地点はなかった。高知の平野部では、この時代においてツガ属やモミ属など、温帯性針葉樹林が優占していたことが花粉分析の結果から示されている。これは、最終氷期最盛期の植生図が示す平野部の森林分布に対応する。しかし、ヨモギ属などの草本類も多産することから、草地が拡大し、乾燥していたことも明らかになった。

次に、温暖化が進んだ完新世における森林について述べる。高知の平野部では、完新世の初期にコナラ亜属が増加し、ツガ属やモミ属を伴う針広混交林が拡大したが、気候が温暖化したとされる約 8000 年前にはアカガシ亜属（カシ類）やシイ属の照葉樹林が成立した。その後、照葉樹林は広く四国の低標高域に拡大した。一方、四国山地の標高 1000m を超える地点では、照葉樹林の拡大は認められず、針広混交林が広がっていた。

3. 人間活動と四国の森林の変化

高知の平野部では、古墳時代から平安時代にマツ属（大半はアカマツと考えられる）が増加し、照葉樹林は減少した。アカマツは本来、乾燥した尾根などに分布するが、農耕のための肥料として落葉落枝や下草を、あるいは燃料として木材を森林から長期に渡って取り続けた結果、栄養が乏しい土壌環境でも生育可能なアカマツが優占したと考えられる。こうした人為影響に伴うマツ属の増加は、時代的な違いはあるもの、九州から東北地方の平野部において広くみられる現象である。花粉分析の結果から江戸時代にマツ属はさらに拡大したことが示されているが、そのことは江戸時代後期に高知市の五台山周辺を描いた絵図からも確認できる。明治時代には本格的な植林が始まったが、その後も森林の過度な利用は止まらず、第二次世界大戦にかけて森林は減少し、山は荒廃した。終戦後に増加する木材需要に対応するため、天然林を伐採した跡地等に針葉樹中心の人工林を造成する拡大造林政策が実施された結果、成長したスギやヒノキが現在多く分布している。一方、人の管理があまり入らなくなった山では、現在の気候条件で成立するはずの森林が回復しつつある。例えば、江戸時代はマツ林に覆われていた五台山周辺では、現在はシイやカシなどの照葉樹林が拡大していることが確認できる。

4. 将来の四国の森林

今後、温暖化が進行すると予測されており、その影響は四国の森林にも及ぶと考えられる。過去の気候変動と森林変遷の関係から判断すると、温暖化した場合、照葉樹林の分布は増加し、ブナを主体とする落葉広葉樹林や亜高山性針葉樹林の分布は減少する可能性が高い。人工林に関しては、気温上昇とそれに伴う大気乾燥が進んだ場合、2100年までに四国の一部でスギ林の生産力がやや低下することがモデルにより予測されている。さらに、耕作放棄地や再造林放棄地の増加が、竹林の増加等、森林の分布変化をもたらす可能性もある。今後予測される温暖化等の影響を検討し、防災面にも配慮しながら、森林の維持・管理に努めることが重要であろう。

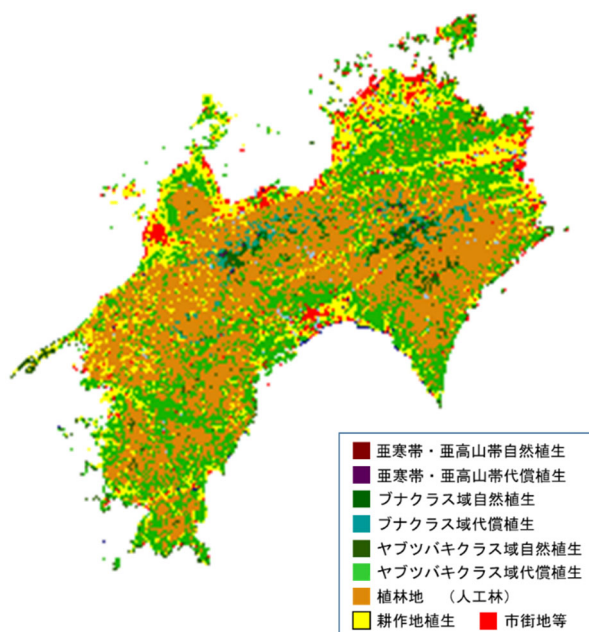


図 1. 四国の現存植生（第 5 回自然環境保全基礎調査の植生調査結果を元に作成）

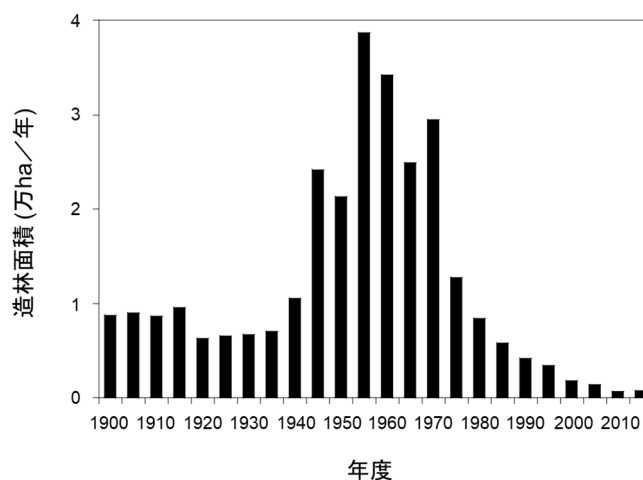


図 2. 四国の造林面積（1900 年度から 5 年毎）（造林面積累年統計および林業統計要覧から作成）

令和3年度森林総合研究所四国支所 公開講演会講演要旨集



2021年12月

編集・発行 国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所四国支所
〒780-8077 高知市朝倉西町2-915
TEL.088-844-1121 (代) FAX.088-844-1130

お問い合わせ 地域連携推進室 koho-ffpri-skk@gp.affrc.go.jp

ホームページ <https://www.ffpri.affrc.go.jp/skk/>

本誌から転載・複製する場合は、森林総合研究所四国支所の許可を得て下さい。
