

B-52 アジア太平洋地域における地域温暖化の局地植生への影響とその保全に関する研究

(3) 湿润温寒帯林における温暖化で引き起こされる森林の動態に関する研究

① 温暖化で引き起こされる現植生の動態と分布の変化に関する研究

研究代表者 森林総合研究所森林環境部植物生態科 埴田 宏

農林水産省林野庁森林総合研究所

|       |       |                   |
|-------|-------|-------------------|
| 生産技術部 | 育林技術科 | 更新機構研究室 田中信行・九島宏道 |
| 東北支所  | 育林部   | 土壌研究室 池田重人        |
|       |       | 多雪地帯林業研究室 梶本卓也    |
|       |       | 育林技術研究室 関 剛       |
|       | 経営部   | 防災研究室 大丸裕武        |
| 関西支所  | 育林部   | 防災研究室 小南裕志        |
| 木曾試験地 |       | 森澤 猛・酒井寿夫         |

平成8～10年度合計予算額 20,650千円

(平成10年度予算額 8,698千円)

〔要旨〕日本の山岳地植生に影響する要因としては、温度と積雪がとくに重要である。本課題では、温暖化の積雪環境への影響予測、雪田草原、亜高山帯針葉樹林、風衝低木林などを対象として温度と積雪の影響予測、ブナ林の種多様性やダケカンバの植物季節への温暖化の影響予測を行った。温度と冬季降水量から積雪水量を推定する式を開発し、1kmメッシュごとの最大積雪水量を推定した。気温のパラメータを変化させることにより、気温の変動に対する積雪量変化の地域分布の推定が可能である。気温の変化に対する最大積雪水量の変動割合は本州日本海側の平野部が顕著であり、東北中央部においても同様の減少傾向が予想された。雪田草原の影響を融雪量と植物分布の関係からみると、気温の上昇によって雪田草原の大きさそのもの変化は小さいが、雪田草原内の消雪時期を反映して植物種の組成や分布が大きく変化することが予測された。花粉分析の結果、湯森山周辺では、現在みられるアオモリトドマツ林が成立した時期はおおむね1000年前であるが、現林分の最上部まで広がったのはさらに新しい時代であった。風衝低木群落では、温暖化で春季の気温・地温が上昇することによって、結実までに長い期間を必要とする低山性の種により有利に働く。そのため、北方に分布の中心を置く種に代わってこれらの種が優占していく変化が予想される。関東甲信越のブナを含む森林の温暖化の影響として、日本海側ではブナ林の種数の若干の増加が、また太平洋側では種数にあまり変化がないことが予想された。この他、アオモリトドマツの樹冠破壊、ダケカンバの植物季節についての調査・解析を実行した。

〔キーワード〕温暖化、積雪環境、更新、植物季節、ハイマツ、アオモリトドマツ、ブナ、雪田植生、風衝低木林

1. 序

地球の温暖化により、温熱気候に対応して分布している森林帯は北方、または、高標高の場所へと移動することになる。このとき、現存の植物群落(現植生)がどのように変化し、どのように温暖な気候に

適応した植物群落と交代するのか、その主導要因とメカニズムについては未解明の点が多い。近い将来に温暖化が現実のものとなることが確実視されるようになった今日、温暖化の影響がいつ、どこで、どのような形で現れるのか、科学的根拠に基づいた具体的予測が要求されている。温度の上昇分に対応して植生帯が北方や高標高に単純に移動するという従来の温暖化影響評価では、さまざまな気候、土地、地形、積雪、群落、人為要因が入り組んで成立している現植生への具体的影響予測としては不十分である。本課題では、温暖化による植物の生育環境をあきらかにしたうえで、温暖化した場合に現植生がどのように推移するか、異なるスケールで具体的に予測することを目的にしている。

## 2. 気温変化の積雪地域分布への影響

日本の積雪地域、特に本州日本海側の豪雪地帯と呼ばれる地域の多くは、世界的に見ても降雪量が多く、冬季の降雪水量が 1000mm を越える地域も存在している。しかし、冬季の気温は比較的高く、融雪期だけでなく厳冬期であっても、顕熱による融雪が見られることは珍しくない。このような地域においては積雪の形成が雨・雪のしきい値に近い気温の範囲でおきており、積雪量の変動はその多くが気温の変動量によって決定されていると考えられる。つまり積雪の大小が冬期の降水量の多寡よりも、降水が雨となるか雪となるかで積雪量が決定される要素が大きい。そこで新潟県南部の多雪地帯において観測された積雪水量と気温のデータから、積雪の変動の分布特性の年変動を検出して、気温に対する積雪水量の反応を求め、気温の変動に対する積雪量の変動特性の解析を行った。積雪水量の年変化を実測値と比較することにより、モデルの整合性の検証を行った。さらにより広いエリアでは、アメダスの降水量、気温データを用いて積雪水量の分布の推定を行った。

### (1) 方法

積雪水量の推定と、温度変化に伴う推定値の変化は以下の方法を用いて算出した。

#### ①格子点での気温、降水量の推定

3次メッシュの 1km の各格子点における気温、降水量の推定値を、対象とする格子点から最も近い 3 点のアメダスポイントのデータから、距離による加重平均によって計算した。気温の推定値に関しては、気温データを 0.6°C/100m の気温低減率を用いて標高 0m 換算の気温値とし、対象地点の標高 0m 気温値を推定した後、数値地図による標高を用いて対象地点の気温を析出した。

#### ②積雪量の推定方法

温度を主要な支配変数として積雪状況を記述するために、積雪水量を用いた積雪量の推定を行った。推定方法は式 (1)、(2) に用いられているような比較的単純なものを用いた。

$$Hw = Hw + Pr \quad Ta < Ts \quad - (1)$$

( $Hw$  : 積雪水量、 $Pr$  : 降水量、 $Ta$  : 日平均気温、 $Ts$  : しきい値気温)

$$Hw = Hw - K \times Ta \quad Ta \geq Ts \quad - (2)$$

( $K$  : 融雪流下パラメーター)

雨雪を判断するしきい値  $Ts$  を用いて、日平均気温がこれよりも小さい場合は雪が供給されたとみなして積雪水量に加えた。日平均気温が  $Ts$  よりも大きい場合、降水は雨で供給されたとみなし、degree-day 法で融雪が進行すると考えた。また供給された雨水と融雪は 1 日以内に下部から流下すると仮定した。

上記の方法を用いてアメダスデータから、3次メッシュの各1kmメッシュポイントにおいて積雪水量の日毎変化の推定を行い、気温のパラメーターを変化させることによって、気温の変動に対する積雪量の変動の地域特性を推定した。

(2) 結果および考察

①積雪量の推定法の検定

上記の方法による積雪水量の推定精度を検証するために、新潟県十日町市内の森林総合研究所十日町試験地において実測積雪水量との比較を行った。推定結果は実測値と良い対応を示しており、適当な雨雪しきい気温と融雪係数を与えれば積雪の変化の推定が可能であることがわかる。さらに十日町市近辺で測定された20カ所での最大積雪深のデータと、標高毎に推定されたモデルによる最大積雪深を比較すると(図1)両者は良い対応を示しており、このことから新潟県南部豪雪地域の積雪環境が気温に依存していることが裏付けられる。

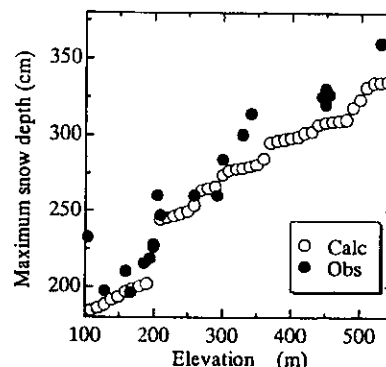


図1 十日町における最大積雪深の標高分布の推定と実測値

②積雪量の推定の2次元分布への拡張

アメダスデータを用いて1kmメッシュで1995-1996年の最大積雪水量の地域分布を作成したところ、本州日本海側の積雪分布を良好に表現できた。次に、気温を2℃上昇させた場合の気温変動に対する最大積雪水量の変動割合を計算した(図2)。最大積雪水量の減少割合は本州日本海側の平野部が顕著であり、東北中央部においても同様の減少傾向が見られる。このような気温の上昇に伴う積雪量減少は島根県海岸部から北海道最南部まで現れた。

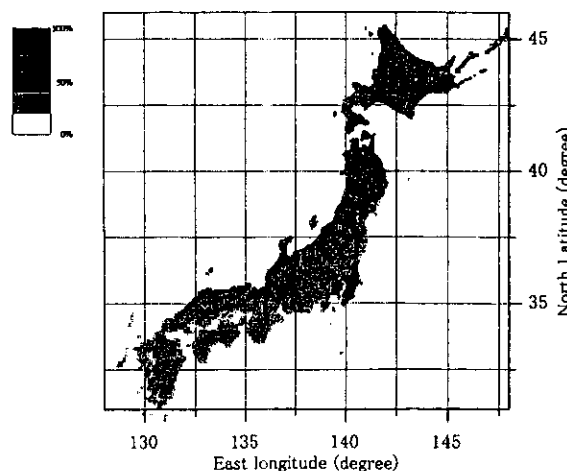


図2 1kmメッシュによる2℃の温度上昇に伴う最大積雪水量の減少の割合(1995-1996)

3. 温暖化による積雪環境の変化が雪田植生の分布に与える影響

多くの高山植物を含む雪田植生は、日本の山岳景観の貴重な構成要素である。また、その消長は降水量と気温のバランスの結果である残雪の変化を反映するため、山岳地域における気候変動の指標としても重要である。雪田土壌には過去の気候変化が記録されていると考えられており、現成の氷河の存在しない日本では、山岳地における気候変化を理解する上で重要な研究材料として、近年注目されている<sup>3,14)</sup>。本研究では、これまで定性的な解釈に留まっていた雪田と気候変化の関係について、定量的な検討を加えた。そして、雪田に残された過去の気候変化の実態について吟味するとともに、将来の温暖化による雪田植生全体の変動の傾向について議論を行った。

(1) 方法と調査地

雪田植生の分布は、残雪の分布と密接に関連している。残雪は年次変化がきわめて大きいので、定期

的な観測が必要である。本研究では 1993 年から残雪のモニタリングを行っている奥羽山地の笹森山の周辺地域をモデルフィールドとし、雪田植生の分布と残雪の関係、残雪の形成過程と残雪規模の経年変化等について研究を行った。また、笹森山付近の雪田は夏季に消雪するため、より多量の積雪があり、越年雪渓を含む多様な雪田景観が見られる鳥海山の南斜面の雪田植生の分布様式についても検討した。これら 2つの調査地からは、過去の温暖期を示すと考えられる埋没泥炭層が発見された。この埋没泥炭層の形成環境について考察を行い、実際に過去の気候変化で雪田がどのように変動してきたかについて検討した。

## (2) 結果と考察

### ① 雪田植生の区分と残雪

雪田植生では消雪期に対応した、同心円的な植生分布が見られることが多い。これまで多くの研究によって、消雪時期と種組成の変化、植物季節、表層土壌の関係について研究が行われてきた<sup>1,15,24)</sup>。本研究では、より広域的な植生変化の研究を行うための基礎研究という目的から、空中写真で識別出来る、大まかな景観区分に基づいて議論を行う。

空中写真から、地域の雪田植生は、「密な草原 (Dense Grassland)」、「疎らな草原 (Sparse Grassland)」、「残雪砂礫地 (Snow Patch Bare Ground)」、「越年雪渓 (Perennial Snow Patch)」に区分された。「密な草原」は、雪田の最も外側に見られ、イネ科草本などからなる丈の高い草原で、植物遺体生産量が大きいため表層にはしばしば泥炭土が発達する。チングルマ、イワカガミなど早い消雪時期に対応した種を含む。「疎らな草原」は、パッチ状の裸地を含む、カヤツリグサ科草本を多く含む丈の低い草本からなり、空中写真では暗い色調を示し、「密な草原」との間に比較的明瞭な境界を持つ。表層土壌は鈹物質で、アオノツガザクラが特徴的に見られる。残雪砂礫地は、裸地が 50%以上を占め植生はパッチ状に発達するが、空中写真においては「疎らな草原」とは連続的に変化する。最も遅くに消雪する場所ではコケ植物が優占する。越年雪渓の範囲は毎年変動するが、鳥海山の雪田区分図では空中写真が撮影された 1976 年秋の残雪範囲を示してある。笹森山周辺域の残雪のモニタリングから、密な草原の外縁は 6 月上旬頃、疎らな草原の外縁は 7 月中旬頃の残雪線にほぼ一致する (いずれも平均的な年)。

### ② 気温の変化が雪田植生に与える影響

気温の変化による融雪速度の変化は、degree-day 法による簡便な計算で推定が可能である。すなわち、ある期間の融雪量  $M$  は積算気温  $T$  と融雪係数  $f$  との積で近似することが可能である。

$$M = f \Sigma T$$

本研究では、 $M$  を積雪層の厚さ (密度変化は考慮しない)、 $T$  を  $-3^{\circ}\text{C}$  以上の積算気温<sup>14)</sup>とし、1994 - 1995 年に定期的な観測を行い  $f$  を求めた結果、約  $11(\text{mm}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{day})$  という値が得られた。この関係を用いて気温が変化した場合の消雪時期の変化を計算した結果、消雪時期が遅いほど気温上昇の効果が大きく表れることが明らかになった (図 3)。グラフの左上、すなわち現在消雪時期が遅い場所ほど、等値

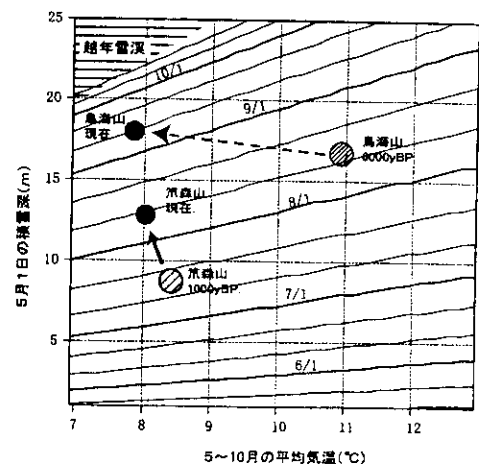


図 3 気候変化による消雪日の変化

線が密である。このことは、2~3℃程度の気温の上昇では“密な草原”や“疎らな草原”の外縁部の位置は大きく変化しないが、より遅くに消雪する“残雪砂礫地”の分布に大きな影響が出ることを物語っている。ただし、融雪速度が同じでも、雪面と地面のなす角度によって雪線の移動速度が変わるため、分布変化の実態は地形の影響を大きく受ける。一般的に、緩斜面が卓越する山地ほど気温上昇の変化は大きくなるといえる。いずれにしても、雪田植生全体では、2℃程度の気温の上昇だけで、雪田そのものがすぐに無くなることは少ないが、残雪砂礫地が縮小するなどして雪田内部の特徴が大きく変化しうること示している。

#### 4. 奥羽山地湯森山周辺の亜高山帯における過去約2000年間の植生変遷

東北地方の多雪山地では亜高山針葉樹林の発達が悪く、代わって低木群落やササ群落などが生育し、いわゆる偽高山帯の景観を呈するところが広くみられる。こうした地域において、温暖化による植物への影響を予測するために、これまでの植生の変遷を把握し、現在の植生がどのような変化の過程の中に位置づけられるのかを明らかにしておく必要がある。

亜高山針葉樹の代表的樹種であるアオモリトドマツの東北地方における主な分布地は、北部では八甲田山、八幡平、早池峰山、南部では蔵王山、吾妻山などであり、ほかの山岳ではアオモリトドマツが分布していないか、微小な林分が見られるにすぎない<sup>26)</sup>。その中で、八幡平から秋田駒ヶ岳にかけてはアオモリトドマツ林が植生帯として最も大きなまとまりを形成しているが、地域内でも分布に濃淡がみられる。北部の八幡平周辺ではほぼ全域で針葉樹林帯を形成しているのに対して、南部に向かうにつれて次第に分布が疎になり、秋田駒ヶ岳付近では点在してのみ生育する。こうした中で、湯森山周辺地域ではアオモリトドマツの林分とチシマザサ群落とが混在している。したがって、この地域のアオモリトドマツ林を中心とした新しい時代の植生変遷を解明することは、植生変化の方向を探るうえで、ほかの地域以上に重要な意味を持っている。ここでは亜高山帯の植物群落下の土壌試料を用いた花粉分析によって、比較的新しい時代の植生の変遷を明らかにした。

##### (1) 調査地と方法

調査は湯森山周辺を対象としておこない、花粉分析に供する土壌・泥炭試料を湯森山東方のアオモリトドマツ林、笹森山北方のアオモリトドマツ林、乳頭山の雪田草原の3ヶ所で採取した。

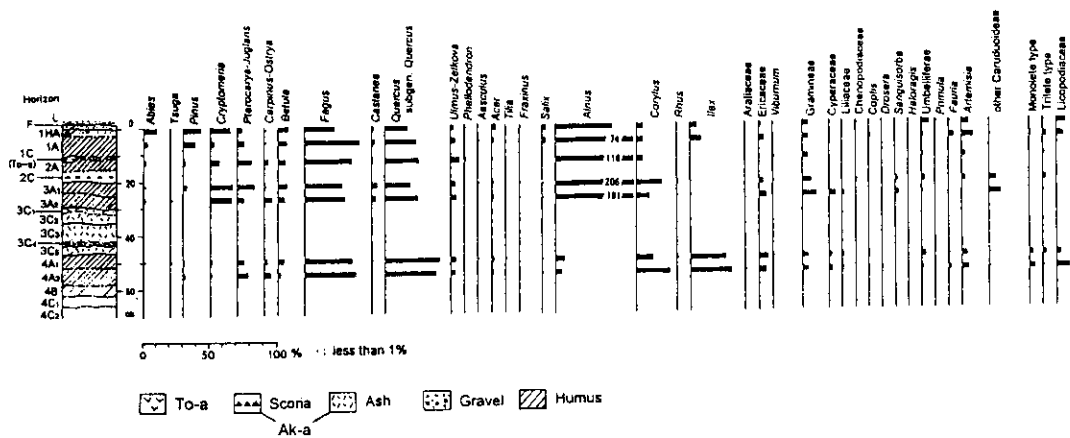


図4 湯森山におけるアオモリトドマツの最標高林分の土壌断面の花粉変遷図

花粉分析は、試料を KOH-ZnCl<sub>2</sub>-アセトリシス法によって処理した後プレパラートを作成し、光学顕微鏡によって樹木花粉 400 個以上を同定し、これを基数として出現した各種属の比率を計算して花粉ダイアグラムを作成した。

## (2) 結果と考察

この地域には土壌断面中の深さ 1 m までの間に数枚のテフラ層が認められる (図 4)。湯森山北東方の熊見平においてテフラの層序とその年代が調べられているが<sup>3)</sup>、これによると今回認められたテフラは、AD.915 年に噴出したとされる To-a (十和田 a テフラ) および Ak-a に対比される。Ak-a 直下の泥炭層の年代が 1900±85yBP を示している<sup>3)</sup>ことから、これらの断面から得た試料による花粉分析結果は、約 2000 年以上にわたる植生変遷を表したものと見える。

このほか、湯森山東方、笹森山北方のアオモリトドマツ林の結果および八幡平の亜高山帯でおこなわれた植生史に関する研究結果<sup>2)</sup>をあわせて考えると、この地域のアオモリトドマツ林は 1000 年前頃にほぼ現在の形にまで拡大したものと推定される。

## 5. 多雪環境におけるアオモリトドマツの樹冠発達

多量の積雪は、樹冠の物理的な損傷・破壊を通じて樹木の成長に大きな影響を与えることがある<sup>2,6,10)</sup>。本州日本海側の亜高山帯では冬季に強い西側からの風が吹きつけ、多量の降雪がもたらされる。風下側の斜面では、その場所での降雪の他に山頂付近から風に吹き飛ばされた雪が積もる。このため風下側の斜面では風上側の斜面よりも積雪の年変動が顕著である。こうした斜面に生育するアオモリトドマツやダケカンバなどの樹種は、生活史の過程において何度か多量の積雪に遭遇していて、これらの種から構成される群落の動態は積雪の影響を受けている。

この研究では、積雪深の年変動とアオモリトドマツの樹冠の破壊について検討した。

### (1) 方法と調査地

調査は奥羽山脈・秋田駒ヶ岳の北東に位置する湯森山の東側の緩斜面で行った。標高は 1350m ほどで、チシマザサ群落に樹高 3-11m のアオモリトドマツがところどころにパッチを形成して生育している。斜面の上方にはチシマザサ群落と雪田群落が発達している。

積雪時にアオモリトドマツ 8 個体の幹に積雪高を示すビニールテープを巻き、消雪後にその部位の地上高を計測した。1996、1997 年に、6 月中旬から 8 月中旬まで、樹高 1.3m 以上の 153 個体について積雪による被害部位に印をつけた。9 月上旬から 10 月中旬に印のついた被害部位の地上高、方位、被害を受けた枝・幹のサイズを記録し、被害形態を記載した。

1995-1996 年冬季よりも前の枝の剥離の形態を知るため、樹高 1.3m 以上 3m 未満の 31 個体、3m 以上の 26 個体について、それぞれ樹幹に残る枝の剥離の痕跡の地上高・幹の中心から見た方位を計測した。

### (2) 結果と考察

1998 年以前の枝の剥離は、樹高 3m 未満の個体では 22 個体で、3m 以上の個体では 24 個体で観察された。枝の欠失区間 (25cm 以上の節間) は、樹高 3m 未満の個体ではみられなかったのに対し、3m 以上の個体では 16 個体で観察された。枝の欠失区間内で枝の剥離がみられたのは 6 個体のみであった。また、樹高 3m 以上の個体における 1995-1996 年冬季よりも前の枝の剥離は、1990-1994 年に出現した枝においても観察され、地上高 5m 以上の枝でも観察された。剥離された枝の方位は地上高 4m 未満では北西側に片寄っていたが、4m 以上では方位に特に片寄りはなかった。

1995—1996年より前の枝の剥離の特徴から、1995—1996年の調査結果とは異なる樹冠破壊のメカニズムが存在したと考えられる。その特徴は、多量の雪があまりなかったと考えられる年においても枝の剥離が観察されていることと、枝の剥離の方向は地上高4m以上では方向性がなくなることである。雪の少なかつた1996—1997年にも地上高5m以上で枝の剥離が観察されているので、枝の剥離は、樹冠上部では多量の雪がなくても発生するかもしれない。一方で、地上高4m以下の部位では、枝の1995—1996年より前の剥離は方向性が明らかであった。地上高4m以下では、風や、風をともなった冠雪の影響よりも積雪の影響が大きいかもしれない。

## 6. 奥羽山地、亜高山帯植生の成長及び更新に影響を及ぼす環境要因の評価

気候変動に伴う高山、亜高山帯の植生変遷に関する研究については、とくに北米・北欧を中心に樹林限界を対象とした動態解析例が多数報告されている。花粉分析や樹木年輪データを用いた気候復元的手法による研究では、数1000年オーダーでの樹林限界の水平、垂直移動が夏季の気温や降水量の変化にほぼ対応する傾向にある<sup>4,18)</sup>。しかし、より短期間を対象とした最近の研究では、例えば冬季の降雪量あるいは平均積雪深の年変動といった気温以外の局所的な環境要因の変化が、樹林限界の動態を直接左右する事実が指摘されている<sup>16,17,19,23)</sup>。日本の山岳地の場合、とくに降雪量の多い東北裏日本側の亜高山帯では、その植生分布や動態が気温以外に積雪環境によって少なからず影響を受けていることが予想される。しかし、こうした視点からの研究は数少なく、将来の気候変動に伴う亜高山帯植生の推移を予測するためには、環境条件と植生タイプごとの相互関係、すなわち、現在どの要因が植生動態を支配しているのかについて定量的に把握しておく必要がある。

本研究では、同地域の亜高山帯植生タイプを代表する風衝地のハイマツ群落・低木群落、さらに風下斜面に成立するアオモリトドマツ林を対象に、冬季の積雪環境を中心とした環境条件と各構成種の成長や更新過程との関係を解析し、将来の気候変動に伴う植生推移について考察した。

### (1) 調査地と方法

調査は奥羽山地の秋田駒ヶ岳及び湯森山周辺(標高1400~1500m)において行った。アオモリトドマツ林については、湯森山頂東側の風下斜面に成立する分布上限付近の林分を対象に毎木測定や樹齢、成長パターンに関する調査を行った。風衝地のハイマツ群落については、各山頂部に設けた実生区を中心に、ホシガラスによる種子散布の観察や実生の発芽、定着の追跡調査を行った。風衝地の低木群落については、湯森山頂北面に設けたトランセクトにおいて、主要な4樹種を対象に、開葉・開花・結実など、フェノロジーに関する観察を行った。以上の各調査地点では、気・地温、冬季の最大積雪深、積雪期間などの測定を行った。

### (2) 結果と考察

#### ①アオモリトドマツ林の成長、更新パターン

幹の成長錐サンプルの年輪パターンを解析した結果、急な成長低下が複数の個体で同調する時期が過去約

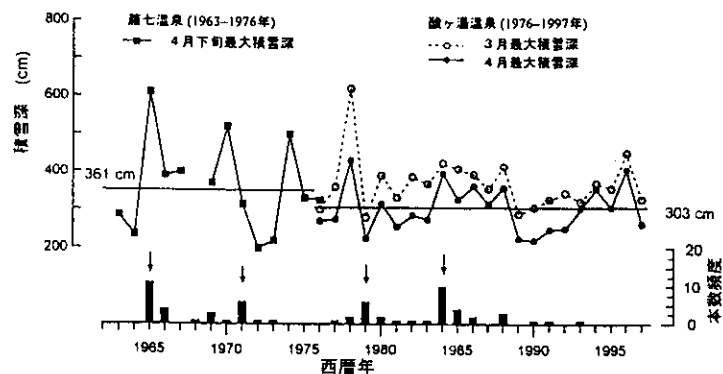


図5 過去30年間にける冬季の積雪深年変動とアオモリトドマツ(100年生以上、46個体)にみられた急な成長低下開始時期の本数頻度の関係。図中矢印は、5本以上の個体で急な成長低下が同調した年を示す。

30年間で4回認められた(1965、1971、1979、1984年)。いずれの時期も、冬季の最大積雪深が極端に多い年かその翌年に対応し、多雪年には一時的に成長を低下させるような幹・枝折れなど積雪沈降圧に伴う雪害が集中的に発生することが推察された(図5)。一方、一部の若木では、こうした時期以降、成長が急に促進される傾向がみられ、10年に1回程度起こる多雪条件は、個体の成長を制限する負の要因であるのと同時に、次世代の更新を促す原因ともなりうることが示唆された。

## ②風衝低木群落のフェノロジー特性

シュート、葉の展開時期や開花・結実時期には、顕著な種間差が認められた。とくに常緑性2種(イソツツジ、ハクサンシャクナゲ)、落葉性2種(クロウスゴ、オオバスノキ)についてそれぞれ種間差を比較すると、本来分布域がより北方域にあるとされる前者の種の方が(イソツツジ、クロウスゴ)、季節成長の開始時期が早く、また繁殖(開花・結実)完結までの期間が短い傾向にあることが示唆された。

## ③ハイマツの実生更新と制限要因

ハイマツの種子散布は、ホシガラスの貯蔵行動に依存するため、その嗜好性によって、実生更新が風衝地のオープンな場所に限定されていた。また貯蔵された種子が高い確率で回収されたり、その際の攪乱による初期枯死率が非常に高いため、潜在的な発芽可能性が低いことが示された。実生の定着についてはかなりの年変動が認められ、その年変動は潜在的な種子供給量よりも初夏の降水量の年変動と密接な関係にあることが認められた。その結果、発芽やその直後の生き残りを決定する春先から初夏にかけての土壌水分条件が、実生定着機会のおもな制限要因であることが示唆された<sup>12)</sup>。

## 7. 長野県御岳山南面でのダケカンバの開葉・紅葉と標高の関係

温暖化は、山岳地の樹木の植物季節にも影響すると予想される。植物季節の観測・研究は多くなされているが、遠隔地での観測が困難なため、亜高山帯など山地での研究例は少ない。本研究では、ダケカンバの植物季節の観測を長野県御岳山にて毎年行い、気候条件との関係を解析した。

### (1) 調査地と方法

長野県御岳山(標高3063m)南面の海拔1300mから2450mの森林で1996年春から1998年秋までの間、ダケカンバの葉のフェノロジーを調査した。対象とした森林は中部山岳林で一般的に見られるシラビソ・オオシラビソ・コマツガ・トウヒ・ダケカンバを主体とした針広混交林である。週1回程度の頻度で、標高50m毎に設けた観測点付近のダケカンバの葉の状態を目視により判定した。葉の状態は各ステージ[1(活動開始):鱗片が動き始める、2(冬芽先割れ):冬芽の先端が割れる、3(鱗片脱落):鱗片が脱落を開始し新葉の先が開き始める、4(新葉展開):新葉の基部も開き始める、5(展開完了):新葉の展開が完了、6(紅葉):葉全体の半分以上が黄・褐変する、7(落葉):葉全体の約90%以上が落葉]に分け、記録した。また、1997年秋より、標高1700、1950、2120、2400m地点の森林内で気温を測定した。気象データを補完するにあたっては、最寄りの気象官署である気象庁木曾福島地域気象観測所と松本測候所の観測値を用いた。

### (2) 結果と考察

高海拔の地点ほど葉の展開完了が遅くなるのは当然であるが、1997年は海拔1900m以上、1998年は海拔2150m以上で開葉が途中のステージで一時停止する現象が見られた。そこで、日平均気温をもとにした有効積算温度を、閾値を変えながら計算し、観測結果と比較した。5℃を閾値とすると、上記の観測結果と一番良く合致した。5℃を閾値とした有効積算温度が100℃・Day程度でステージ2となり、以降、新葉の展開を始める。また、



新葉の展開完了には有効積算温度が  $190^{\circ}\text{C}\cdot\text{Day}$  程度が必要である。1998 年の葉の物質生産期間を葉の展開完了から紅葉までとすると、御岳山の亜高山帯下限付近である海拔 1600m では約 150 日、上限付近である海拔 2450m では約 90 日であった。

## 8. 環境要因がブナ林の種多様性に及ぼす影響

ブナ林は日本の冷温帯を代表する天然林であり、積雪の影響を受け、太平洋、日本海側での組成・構造は異なることが知られている。日本海側のブナ林はブナの優占度が高く種多様度が低く、太平洋側の林ではブナ以外の樹種の混生が多く種多様度が高いといわれている。本研究は、関東甲信越上越に分布する各種のブナ林を比較することにより、種多様性の実態、環境要因とブナ林の種多様性との関係の解析を行い、温暖化の種多様性への影響を予測した。

(1) 方法 ブナ林の出現種数を多点で比較するために、植物社会学の植生調査データを集めた。元データから調査地点の 2 次メッシュコードを特定し、環境データを含むデータベースを構築した。気象データとして、気象庁気象研究所大気・循環モデル(MRI-CGCM)による局地気候シナリオに基づき農業環境技術研究所が作成した二次メッシュ気候資料に月別低減率を適用して、暖かさの指数、積雪指数などを計算した。

### (2) 結果と考察

太平洋側 169 地点、日本海側 161 地点のブナ林出現域を気候条件から見ると、日本海側は全体に多雪であり、暖かい(WI が高い)箇所が多くあった。プロット毎の出現種数は 20~30 種のことが多かったが、太平洋側の平均値は 34.3 種、日本海側は 28.3 種であった。これは、太平洋側の出現種数は最大 76 種で 50 種以上出現する地点も多いのに比べ、日本海側は出現種数が 50 種以上の地点がほとんどなかったことによる。

高木層の出現種数は、太平洋側は 8.5 種と林冠層に混生する樹種が多かった。日本海側は 4.0 種で多くがブナ純林型であることを示していた。低木層の出現種数は太平洋側、日本海側とも 5~20 種ぐらいで差がなかった。草本層の出現種数は平均値では差がないが、太平洋側は 0~55 種まで非常にばらつき、日本海側はほとんどが 10~30 種の範囲にあった。高木層構成種数は太平洋側が多かったが、下層構成種数は日本海側も太平洋側と同程度にあり種多様性が低いとはいえない。

ブナの常在度は、階層別に比較すると、太平洋側では高木層以外は少ないのに対し、日本海側では低木層・草本層も高い。プロット毎の温暖指数と出現種数の関係では、太平洋側では WI の低いところでも出現種数が多いのに対し、日本海側では WI が高くなるにつれて出現種数が増える傾向が見られた(図 6)。この結果から、温暖化は、日本海側ではブナ林の種数の若干の増加が、また太平洋側では種数にあまり変化がないことが予想される。温暖化は、温暖なブナの分布下限域で積雪の著しい減少をもたらすことが予想されている。

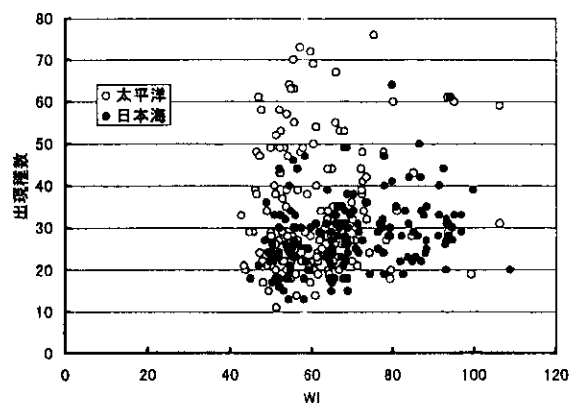


図 6 太平洋側・日本海側ブナ林の温暖指数と出現種数の関係

## 9. 本研究により得られた成果

日本の積雪地域において、気温の変動に対する積雪量の変動特性の解析を行うために、アメダスの気温と降水量のデータを用いて、積雪水量の年変化の推定を 1km メッシュで行った。このモデルの中で気温を変化させることにより、気温の変動に対する積雪量変化の地域分布の推定を行った。気温の変化に対する最大積雪水量の変動割合は本州日本海側の平野部が顕著であり、東北中央部においても同様の減少傾向が予想された。

雪田草原の場合、融雪量と植物分布の関係から、気温の上昇による雪田草原の分布範囲そのものの変化は小さいが、雪田草原内の消雪時期を反映して植物種の組成や分布が大きく変化することが予測された。雪田草原の消雪が遅い場所に出現するアオノツガザクラなどの種は、気温上昇によって分布が大きく縮小したり、一部の地域では群落そのものが消失すると予想された。

花粉分析の結果、湯森山周辺では、現在みられるアオモリトドマツ林が成立した時期は 1000 年前頃であるが、現林分の最上部まで広がったのはさらに新しい時代である。アオモリトドマツ林が成立する以前は、ブナやミズナラなどの落葉広葉樹林が優占していたが、ハンノキ属やイヌツゲ属、ハシバミ属などの低木種が現在よりも広く生育していたことがわかった。

風衝低木群落では、温暖化で想定される春季の気温・地温の上昇が、結実までに日数を必要とする低山性の種に有利に働くため、これらの種が現在の種に代わって優占していく構成種の組成上の変化が予想された。

ダケカンバの植物季節を長野県御岳山で観測し、毎年行い、気候条件との関係を解析した。その結果、5℃以上の有効積算温度が 100℃・Day 程度以降で新葉の展開が始まり、新葉の展開完了には 190℃・Day 程度が必要とあることがわかった。

関東甲信越上越に分布する各種のブナ林の種多様性への温暖化の影響を予測した。プロット毎の温量示数と出現種数の関係で、太平洋側では WI の低いところでも出現種数が多いのに対し、日本海側では WI が高くなるにつれて出現種数が増える傾向が見られた。この結果から、温暖化によって、日本海側ではブナ林の種数の若干の増加が、また太平洋側では変化が少ないことが予想された。

## 10. 参考文献

- 1) Billings, W. D. and Bliss, L. C. (1959) An alpine snowbank environment and its effects on vegetation, plant development, and productivity. *Ecology*, 40, 388-397.
- 2) Boivin, S. and Begin, Y. (1997) Development of a black spruce (*Picea mariana*) shoreline stand in relation to snow level variations at Lake Bienville in northern Quebec. *Can. J. for. Res.* 27: 295-303.
- 3) 大丸裕武・池田重人・斎藤武史・梶本卓也・岡本透・関剛 (1997) 奥羽山地北部筑森山の雪田土壌にみられる中世温暖期の雪溪の縮小 第1報 雪田中の埋没泥炭層の分布と年代および形成環境、*雪氷*、59:101-110.
- 4) Elliott, D.L. (1979) The current regenerative capacity of the northern Canadian trees, Keewatin, N.W.T., Canada: some preliminary observations. *Arct. Alp. Res.* 11:243-251.
- 5) 樋口敬二・若浜五郎・山田知充・成瀬廉二・佐藤清一・阿部正二郎・中俣三郎・小岩清水・松岡春樹・伊藤文雄・鷺坂修二・渡辺興亜・中島暢太郎・井上治郎・上田 豊 (1979) 総合報告 - 日本における雪溪の地域的特性とその変動、*雪氷*、41:181-197.
- 6) Homma, K. (1997) Effects of snow pressure on growth form and life history of tree species in Japanese beech forest. *J. Veg. Sci.* 8: 781-788.

- 7) Huges M. K. (1994) Was there a 'Medieval Warm Period', and if so, where and when. *Climatic Change*, 26: 109-142.
- 8) 井上雅之・松田益義 (1973) 大雪山雪壁雪溪における質量収支の研究. *雪氷*, 35:180-191.
- 9) 井上聡・横山宏太郎(1998):地球環境変化時における降雪量の変動予測. *雪氷*, 60:367-378
- 10) 石塚和雄 (1981) 八甲田山におけるアオモリトドマツの雪害樹形. アオモリトドマツ林の生態学的研究. 39-48. 仙台.
- 11) 石坂雅昭 (1995) メッシュ気候値から推定した日本の雪質分布. *雪氷*, 57:23-34
- 12) Kajimoto,T.,Onodera,H.,Ikeda,S.,Daimaru,H.and Seki,T.(1998) Seedling establishment of subalpine stonepine *Pinus pumila* by nutcracker seed dispersal on Mt. Yumori, northern Japan. *Arct. Alp. Res.* 30:408-418.
- 13) 刈谷愛彦 (1994) <sup>14</sup>C年代とテフクロロジーからみた月山の亜高山帯に分布する埋没黒泥層の生成期. 第四紀研究, 33:269-276.
- 14) 小島賢治・本山秀明・山田芳則 (1983) 気温等単純な気象要素による融雪予測について. *低温科学物理篇*, 42:101-110.
- 15) Kudo, G. (1991) Effects of snow-free period on the phenology of alpine plant inhabiting snow patches. *Arctic and Alpine Research*, 23: 436-443.
- 16) Kullman, L. (1986) Late Holocene reproductional patterns of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* at the forest limit in central Sweden. *Can. J. Bot.* 64:1682-1690.
- 17) Kullman, L. and Engelmark, O. (1997) Neoglacial climate control of subarctic *Picea abies* stand dynamics and range limit in Northern Sweden. *Arct. Alp. Res.* 29:315-326.
- 18) LaMarche, V.C. and Mooney, H.A. (1972) Recent climatic change and development of the bristlecone pine (*P. longaeva* Bailey) krummholz zone, Mt. Washington, Nevada. *Arct. Alp. Res.* 4:61-72.
- 19) Lavoie, C. and Payette, S. (1992) Black spruce growth forms as a record of a changing winter environment at treeline, Quebec, Canada. *Arct. Alp. Res.* 24:40-49.
- 20) Lavoie, C. and Payette, S. (1994) Recent fluctuations of the lichen-spruce forest limit in subarctic Quebec. *J. Ecol.* 82: 725-734.
- 21) 守田益宗 (1985) 東北地方における亜高山帯の植生史について II.八幡平、日生態会誌、35:411-420.
- 22) 小川真由美・野上道男、1997:温暖化が冬季の降水量に与える影響. *水文水資源学会誌*、10:79-86
- 23) Payette, S.,Filion, L., Delwaide, A. and Begin, C. (1989) Reconstruction of tree-line vegetation response to long-term climate change. *Nature* 341:429-432.
- 24) Stanton, M. L., Rejmanek, M. and Galen, C. (1994) Changes in vegetation and soil fertility along a predictable snowmelt gradient in the Mosquito Range, Colorado, U.S.A.. *Arctic and Alpine Research*, 26: 364-374.
- 25) Stine, S. (1994) Extreme and persistent drought in California and Patagonia during medieval time. *Nature*, 369: 546-549.
- 26) Sugita, H. (1992) Ecological geography of the range of the *Abies mariesii* forest in northeast Honshu, Japan, with special reference to the physiographic conditions. *Ecological Research*, 7,:119-132.
- 27) 只木良也・北村秀夫・蟹江清丞・佐野弘美・重松明子・大津慎一 (1994) 標高に伴うカラマツの葉の開葉と落葉の挙動、日生態会誌、44:305-314
- 28) 山中英二 (1979) 飯出山御西岳付近の雪窟. *東北地理*、31:36-45.

[研究成果の発表の状況]

(1) 口頭発表

- ①大丸裕武 (1996) 気候変動と東北地方の山地の自然環境. 1996 年度東北森林科学会シンポジウム要旨集.
- ②大丸裕武・梶本卓也・小野寺弘道・関 剛・岡本 透 (1997) 八幡平で発見された雪崩跡地、1997 年日本雪氷学会全国大会公園予稿集:138.
- ③Daimaru, H. (1998) Climatic signal records in soils around summer snow patches. Abstract of Conference Papers Third International Meeting on Global Continental Paleohydrology GLOCOPH' 98:55.
- ④大丸裕武・大谷義一 (1999) 筑森山の雪田土壌にみられる埋没泥炭の古気候学的意義、日本地理学会予稿集. 55:92-93.
- ⑤池田重人・相澤州平・岡本 透 (1996) 亜高山帯に生育するスギ群落の立地特性－奥羽山地湯森山周辺の例－、東北森林科学会講演要旨集. 1:15.
- ⑥池田重人・梶本卓也・大丸裕武・関 剛 (1996) 奥羽山地湯森山の山頂部風衝植生における土壌水分の変動、日本生態学会講演要旨集. 43:190.
- ⑦池田重人・梶本卓也・大丸裕武・関 剛 (1997) 奥羽山地湯森山の山頂部風衝植生における地温環境、第 44 回日本生態学会大会講演要旨集. 27.
- ⑧池田重人・大丸裕武・梶本卓也・関 剛・岡本 透 (1997) 奥羽山地の湯森山東斜面に生育する最上部のアオモリドマツ群集はいつ成立したか？－土壌花粉分析による推定－、日本第四紀学会講演要旨集、27、120-121.
- ⑨池田重人・大丸裕武・梶本卓也・関 剛 (1998) 奥羽山地湯森山周辺における過去約 2000 年間の植生変換、第 45 回日本生態学会大会講演要旨集. 146.
- ⑩梶本卓也・関 剛・池田重人・大丸裕武 (1997) 奥羽山脈、湯森山におけるアオモリドマツの成長と更新パターン、第 44 回日本生態学会大会講演要旨集、31.
- ⑪九島宏道・田中信行・山下直子・埜田 宏 (1998) 太平洋、日本海側の低標高ブナ林の比較1. 種多様性と構造. 第 109 回林学会大会講演要旨、p.167.
- ⑫森澤 猛:ダケカンバの開葉・紅葉と標高の関係について(I)－1997～1998 年の御岳山南面での観測例－、第 110 回日本林学会大会発表予定.
- ⑬関 剛・大丸裕武・池田重人・梶本卓也 (1997) 奥羽山脈湯森山の風背斜面におけるアオモリドマツの冬季の樹冠の損傷・破壊について、第 44 回日本生態学会講演要旨. P.30.
- ⑭関 剛・大丸裕武・池田重人・梶本卓也(1998)積雪深の季節変化はアオモリドマツの枝の残存に影響を及ぼすか?. 第45回日本生態学会大会講演要旨集. 73.
- ⑮田中信行・九島宏道・山下直子・埜田 宏 (1998) 太平洋、日本海側の低標高ブナ林の比較2. 分布と気候条件. 第 109 回林学会大会講演要旨、p.167.

(2) 論文発表

- ①Daimaru, H. (1996) Snow Patch Shrinkage in the Medieval Warm Period Inferred from the Buried Peat Layer on Mt. Zarumori. Proceedings of IGBP-PAGES/PEP II. Symposium on Paleoclimate and Environmental Variability in Austral-Asian Transect during the Past 2000 Years, pp. 120-125.
- ②大丸裕武 (1996) 積雪環境の変動と雪田草原、環境庁地球環境研究報告書「地球の温暖化が植物に及ぼす影響の解明に関する研究」. p.169:94-101.

- ③Daimaru, H. & Ikeda S. (1996) Climatic change and snowpatches, revealed by soil stratigraphy around the nivivation hollows. In: Climate Change and Plants in East Asia (eds K. Omasa et al.) Springer, pp.139-147.
- ④大丸裕武・池田重人・斎藤武史・梶本卓也・岡本 透・関 剛 (1997) 奥羽山地北部筑森山の雪田土壌にみられる中世温暖期の雪溪の縮小、第1報、雪田中の埋没泥炭層の分布と年代および形成環境、雪氷、59(2)、101-110.
- ⑤池田重人(1996)ハイマツの下は凍っていた、森林総合研究所東北支所たより(412)、1-3.
- ⑥梶本卓也 (1996) これでも樹木? 「樹木の100不思議」、日本林業技術協会、44-45.
- ⑦Kajimoto T., Kurachi N, Chiba Y, Utsugi H. & Ishizuka M. (1996) Effects of external factors on growth and structure of *Pinus pumila* scrub in Mt. Kinpu, central Japan. In: Climate Change and Plants in East Asia (eds K. Omasa et al.) Springer, pp.149-156.
- ⑧梶本卓也・倉地奈保子・千葉幸弘・宇都木 玄・石塚森吉 (1996) 奥秩父、金峰山のハイマツ低木林の構造及び成長におよぼす環境要因の影響. 環境庁地球環境研究総合推進費終了研究報告書「地球の温暖化が植物に及ぼす影響の解明に関する研究」、90-94、1996.
- ⑨Kajimoto,T.,Onodera,H.,Ikeda,S.,Daimaru,H.and Seki,T.(1998) Seedling establishment of subalpine stone pine *Pinus pumila* by nutcracker seed dispersal on Mt. Yumori, northern Japan. Arctic and Alpine Research, 30:408-418.
- ⑩梶本卓也 (1999) ふるさとははるか北の凍てつく大地. 「森の環境100不思議」、日本林業技術協会、118-119.
- ⑪梶本卓也、ハイマツ群落の成立と立地環境. 「高山植物の自然史」(工藤 岳編著)、北大図書刊行会、(印刷中)
- ⑫九島宏道・田中信行・山下直子 (1997) 森林総合研究所樹木園における針葉樹類の開葉時期と温度環境. 日林論 108: 283-286.
- ⑬大沢雅彦・江口卓・田中信行・池田浩明・根本正之・波田善夫 (1997) 自然生態系への影響(第2章). 地球温暖化と日本:自然・人への影響予測、西岡秀三・原沢英夫編、古今書院. p.37-103.
- ⑭Ohsawa, M.,Eguchi,S.,Tanaka,N.,Ikeda,H.,Nemoto,M.& Hada,Y.(1998) Impacts on natural ecosystem. In:"Nishioka,S. & Harasawa, H. (eds.), Global warming: the potential impact on Japan", Springer, p.35-99.
- ⑮Ohtani Y., Morisawa T., Yamanoi K., Daimaru H. & Goto Y. (1996) Modeling of snowmelt and soil temperature evolution in subalpine snow patch. In: Climate Change and Plants in East Asia (eds K. Omasa et al.) Springer, pp.167-174.
- ⑯関 剛・大丸裕武・池田重人・梶本卓也 (1998) 亜高山帯における積雪環境と植物の営みとの関係を探る. 一八幡平・秋田駒ヶ岳地域での試み一. 日本生態学会東北地区会会報. 58: 7-10.
- ⑰Tanaka, N. & Taoda, H. (1996) Expansion of elevational distribution of beech (*Fagus crenata* Blume) along the climatic gradient from the Pacific Ocean to the Sea of Japan in Honshu, Japan. In: Climate Change and Plants in East Asia (eds. K. Omasa, K. Kai, H. Taoda, Z. Uchijima & M. Yoshino) pp. 175-184. Springer.
- ⑱田中信行 (1998) 森林に対する気候変動影響研究の方向性. 地球環境研究展望:地球温暖化(影響)、p.38-40.
- ⑲Tanaka, N., Taoda, H. & Omasa, K. (1998) Field studies on the effects of global warming on mountain vegetation in Japan. Global Environmental Research 1(1&2):71-74.
- ⑳田中信行 (1999) さまよう森林. 森林の環境 100 不思議、日本林業技術協会、p.12-13.

- 21 埜田 宏・田中信行・九島宏道・池田重人・梶本卓也・関 剛・大丸裕武・小南裕志・森澤 猛・酒井寿夫  
(1997) 温暖化で引き起こされる現植生の動態と分布に関する研究. 地球環境研究総合推進費平成8年度  
研究成果報告集(中間報告 I)オゾン層の破壊・地球の温暖化、環境庁調整局地球環境部環境保全対策課  
研究調査室、p.394-398.
- 22 埜田 宏・田中信行・九島宏道・池田重人・梶本卓也・関 剛・大丸裕武・小南裕志・森澤 猛・酒井寿夫  
(1998) 温暖化で引き起こされる現植生の動態と分布に関する研究. 地球環境研究総合推進費平成9年度  
研究成果報告集(中間報告 I)オゾン層の破壊・地球の温暖化、環境庁調整局地球環境部環境保全対策課  
研究調査室.