

(原著論文)

気象衛星 NOAA の画像からの雪形を用いた スギ花粉飛散ステージの予測

高橋 裕一¹⁾・川村 宏²⁾・大西 拓也³⁾・松澤 茂⁴⁾・
小畑 征二郎⁵⁾・川島 茂人⁶⁾・井上 聡⁶⁾・小野瀬 浩司⁷⁾

¹⁾ 山形県衛生研究所 〒990-0031 山形市十日町1-6-6

²⁾ 東北大学大学院理学研究科 〒980-8578 仙台市青葉区新巻字青葉

³⁾ クロスカット 〒980-0014 仙台市青葉区本町1-12-7

⁴⁾ 東北学院大教養部情報科学科 〒981-3193 仙台市泉区天神沢2-1-1

⁵⁾ 仙台電波工業高等専門学校 〒989-3124 仙台市青葉区上愛子字北原1

⁶⁾ 農業環境技術研究所 〒305-8604 つくば市観音台3-1-1

⁷⁾ 山形県森林研究研修センター 〒991-0041 寒河江市大字寒河江丙2707

(2000年7月27日 受付, 2000年10月25日 受理)

Prediction of the Stage of Pollen Dispersion Using Yukigata
(Remaining Snow Patterns in Mountains) Obtained from Images
by the Weather Satellite NOAA.

Yuichi TAKAHASHI¹⁾, Hiroshi KAWAMURA²⁾, Takuya OHNISHI³⁾,
Shigeru MATSUZAWA⁴⁾, Seiji OBATA⁵⁾, Shigeto KAWASHIMA⁶⁾,
Satoshi INOUE⁶⁾ and Kohji ONOSE⁷⁾

¹⁾ *Yamagata Prefectural Institute of Public Health,
Tohkamachi 1-6-6, Yamagata-City, Yamagata, 990-0031 Japan*

²⁾ *Graduate School of Science Tohoku University,
Sendai-City, Miyagi, 990-8578 Japan*

³⁾ *CROSS CAT Co. Ltd. Sendai Office,*

Honchou 1-12-7, Aoba-ku, Sendai-City, Miyagi, 980-0014 Japan

⁴⁾ *Computer System lab. Information Science, Tohoku-Gakuin University,
2-1-1, Tenjinsawa, Izumi-ku, Sendai-City, Miyagi, 981-3193 Japan*

⁵⁾ *Sendai National College of Technology,
1 Kitahara, Kamiyashi, Aoba-ku, Sendai-City, Miyagi, 980-0014 Japan*

⁶⁾ *National Institute of Agro-Environmental Science,
Kannondai 3-1-1, Tsukuba-City, Ibaragi, 305-8604 Japan*

⁷⁾ *Yamagata Prefectural Forest Research and Instruction Center,
Sagae-hei, 2707, Sagae-City, Yamagata, 991-0041 Japan*

Imagination of an animal, a letter or a hero of story from patterns of visible snow distribution on the near-by mountains during the period of spring and early summer are

called "Yukigata" in Japanese and its information is useful for agricultural works. We examine the possibility to predict the stage of pollen dispersion by use of the snow distribution detected by AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) on board the NOAA satellites. The directly-received AVHRR data is processed by a system which enable us to retrieve the snow distributions with an accuracy of about 90% in comparison against the in situ snow measurements. The achieved accuracy is satisfactory for the purpose of present study. We examined the processed image at each stage of *Cryptomeria japonica* pollen season.

The obtained results are as follows ;

- ① The beginning day of pollen dispersion coincides with the time of snow disappearance at the lowlands in the Shonai Plain and the Yamagata Basin.
- ② Period of the maximum pollen count coincides with the time of snow disappearance at the lowlands from the Shonai Plain to the Oitama Basin along the Mogami River.
- ③ Expiration period of pollen dispersion coincides with the existing period of lingering snow on the high mountains, i.e., Mt. Zao, Mt. Chokai and Mt. Gassan.

Key Words : beginning day of pollen dispersion, date of maximum pollen count, expiration day of pollen dispersion, Japanese cedar pollen, NOAA, pollen, Yukigata.

はじめに

スギ花粉の飛散開始期, 最大飛散期及び飛散終了期(以後, 開始期(日), 最大期(日)及び終了期(日)と略)に関する情報は患者の薬物使用や医師の治療方針等を決めるための重要な情報である。また花粉情報を提供する側としては, 現在の花粉飛散ステージを知ることが, 正確な予想を行うには欠かせないことである。スギ花粉の開始日や花粉の飛散ステージについては従来から積算気温を用いた予測が行われてきた。気温を積算する際の起算日として1月1日が慣用されたが, 最近では生理学的な起算日として休眠打破日からの積算が試みられ精度を上げた報告⁽¹⁻³⁾がみられる。山形地方では開始日は直前の降雪に大きく左右され, 開始日までの積算気温は年により150°C以上異なることがある。そこで, 当地における開始日とそれに続く飛散ステージの予想はスギの開花状況を観察し行ってきた⁽⁴⁾。幸い, 近くにはスギ林があり, 開花は標高の低い場所から始まり, 順次高い場所に移っていく。そのため, 盆地の底部で早く開花するスギを観察することで開始日を知ることができた。さらに盆地の東側斜面で標高600m地点の開花をみることで最大期を, 標高900m地点の開花で終了期を知ることができた。この方法は確実ではあるが, 調査者は毎年多量のスギ

花粉に曝露されることになる。そこで開花の観察に換わる方法を模索してきた。

ここでは, 気象データやスギ開花の観察によらない方法として雪形とスギ花粉の飛散ステージとの関係を検討し, 飛散ステージ予想への応用の可能性を調べた。農業分野では古来より近くの山の残雪模様を動物, 文字, 物語の主人公等に見て, 農作業の適期を判断する手段の一つとしてきた^(5, 6)。我々は地上からの雪形ではなく人工衛星で宇宙からみた残雪/消雪模様(ここでは広義に解釈し以後“雪形”と呼ぶことにする)を用いてスギ花粉の飛散ステージを知る手段にできないか検討した。

材料と方法

1. NOAA衛星画像

アメリカが打ち上げた実用極軌道気象衛星であるNOAA衛星のAVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)画像を用いた。画像は1989年から1998年までの10年間に受信されたものである。ただし1996年はスギ花粉がほとんど飛散しなかったので検討から除いた。AVHRRは可視近赤外域に5バンドを有し, その地上分解能は衛星の直下で1.1kmである。NOAA衛星の周期は約102分なので, 受信

地である仙台の上空を1日に数回は通過する。ここでは昼ごろに東北地方を通過する衛星のデータを受信し使用した。使用した画像は各年の2月下旬から4月末までに得られたもので、1989年8枚、1990年14枚、1991年15枚、1992年8枚、1993年11枚、1994年7枚、1995年13枚、1997年5枚、1998年4枚の合計85枚である。東北大学では1988年より受信を開始し現在では雪の有無を約90%の精度で判別できる手法を完成させ、多方面への実用化に向けた応用が期待される。

2. 空中花粉調査

空中花粉数の測定はダーラムサンプラーを用い、「空中花粉測定および花粉情報の標準化委員会」が定めた方法⁽⁷⁾に従って測定した。つまり、原則として24時間ごとにスライドを交換し、カルベラ液で染色し、18mm×18mmのカバーガラスの全面を計数し、1cm²当たりの個数に換算した。測定地点は、山形市1は山形県衛生研究所（山形市十日町）、山形2は日本気象協会山形支店（山形市緑町）で、他の5地点（酒田市、鶴岡市、新庄市、米沢市、長井市）は各都市にある保健所である。1997年と1998年は鶴岡市と長井市は観測地点から除かれたためデータをとることができなかった。飛散開始日は1個/cm²のスギ花粉が連続して2日以上飛散した最初の日あるいは2個/cm²以上が飛散した日とした。飛散終了日は飛散終了期に3日間連続して0個が続いた最初の日の前日とした。

結 果

今回の対象領域は山形県を中心とした東西116km、南北174kmの区画である。標高情報をマップ化したのが図1である。西は日本海に面し残る三方は標高が1,000mを越える山に囲まれている。1991年の開始日から終了日まで得られた雪の有無判別処理画像の中で雲域が比較的少ないものを選び出し日付順に並べると図2ようになる。同様の処理を残る8年間について日付順に行い連続表示したところ、年により多少の差がみられるものの、消雪域の現れ方には決まった順序があることがわかった。そこで各花粉飛散ステージがどの雪形に対応するか調べた。表1～表3には1996年を除く1989年から1998年までの7地点（1997年、1998年は5地点）におけるスギ花粉の開始日（表1）、最大日（表2）、終了日（表3）を1月1

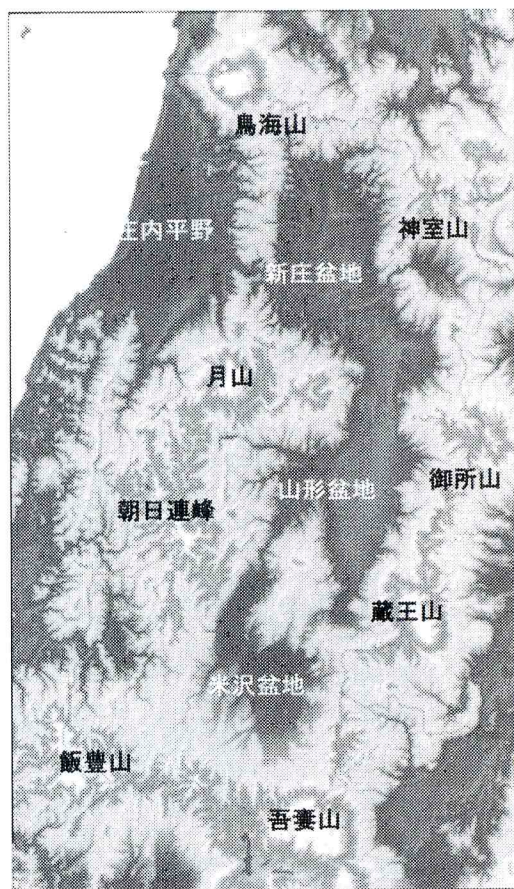


図1. 対象領域

山形県を対象とした領域で、県境は三方が山に囲まれている。

花粉観測地点の標高は、庄内平野にある酒田保健所が3m；新庄盆地にある新庄保健所が95m；山形盆地にある山形保健所が145m；米沢盆地にある米沢保健所が245mで、山頂の標高は、鳥海山；2236m、神室山；1365m、御所山；1500m、蔵王山；1841m、吾妻山；2035m、飯豊山；2105m、大朝日岳；1870m、月山；1984mである。

日からの日数で示した。まず、各年の平均日を求め、その平均日の前後数日のNOAA画像で雲が少ないものを枚数ずつ選び出した。その一例として最大期について得られた4画像（4シーズン）を図3に示した。図では残雪地域を黒で示してある。灰色の部分は雲域である。各年について各時期に得られた画像を比較したところ飛散ステージごとに相互に類似した雪形がみ

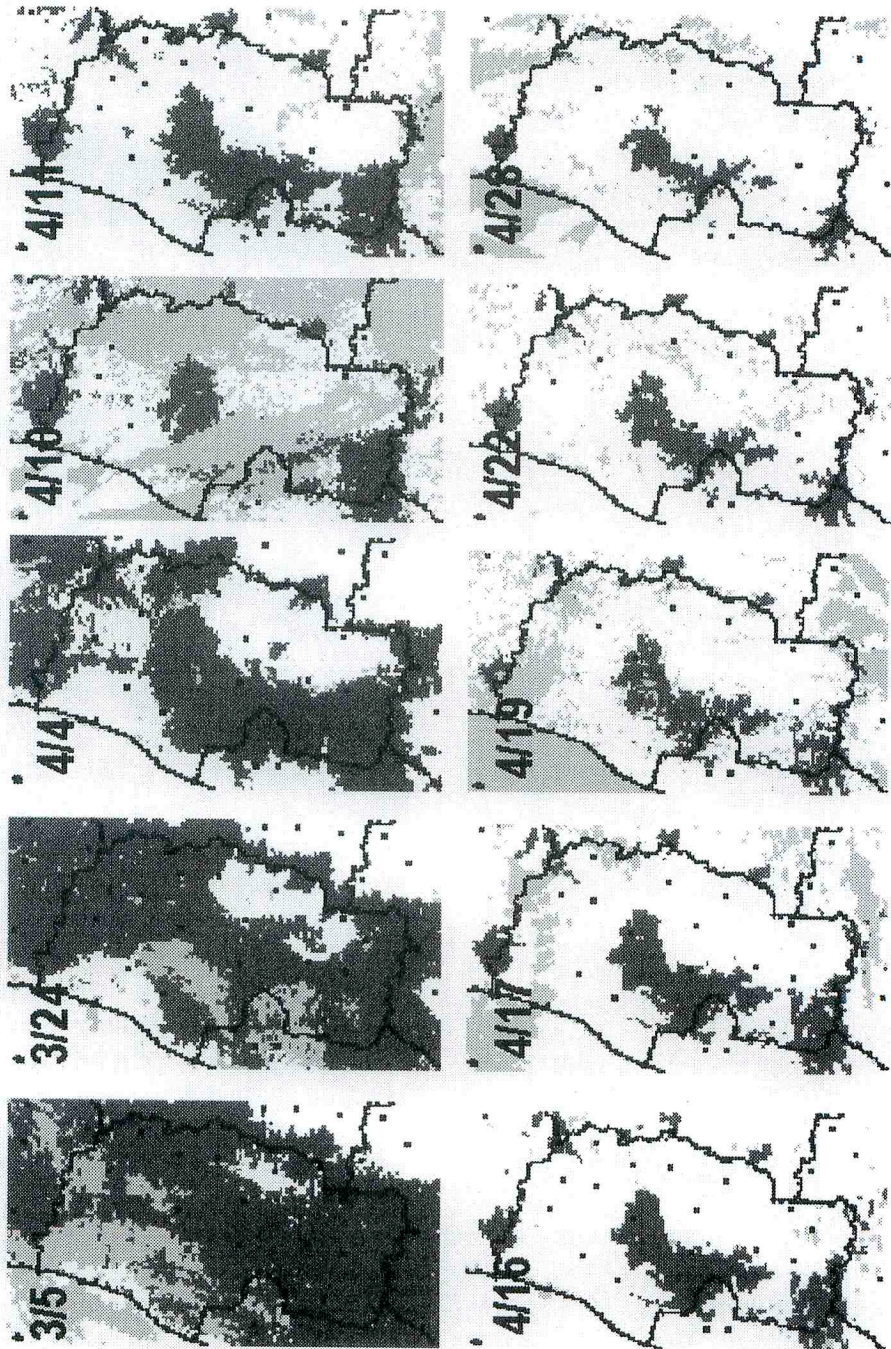


図2. 1991年に得られた雪の有無判別処理画像

スギ花粉の飛散開始日ころから飛散終了日ころまでのもので、比較的雲が少ない画像を日付順に並べてある。

黒い部分が残雪域、灰色の部分は曇域、白色の部分は消雪域を示す。

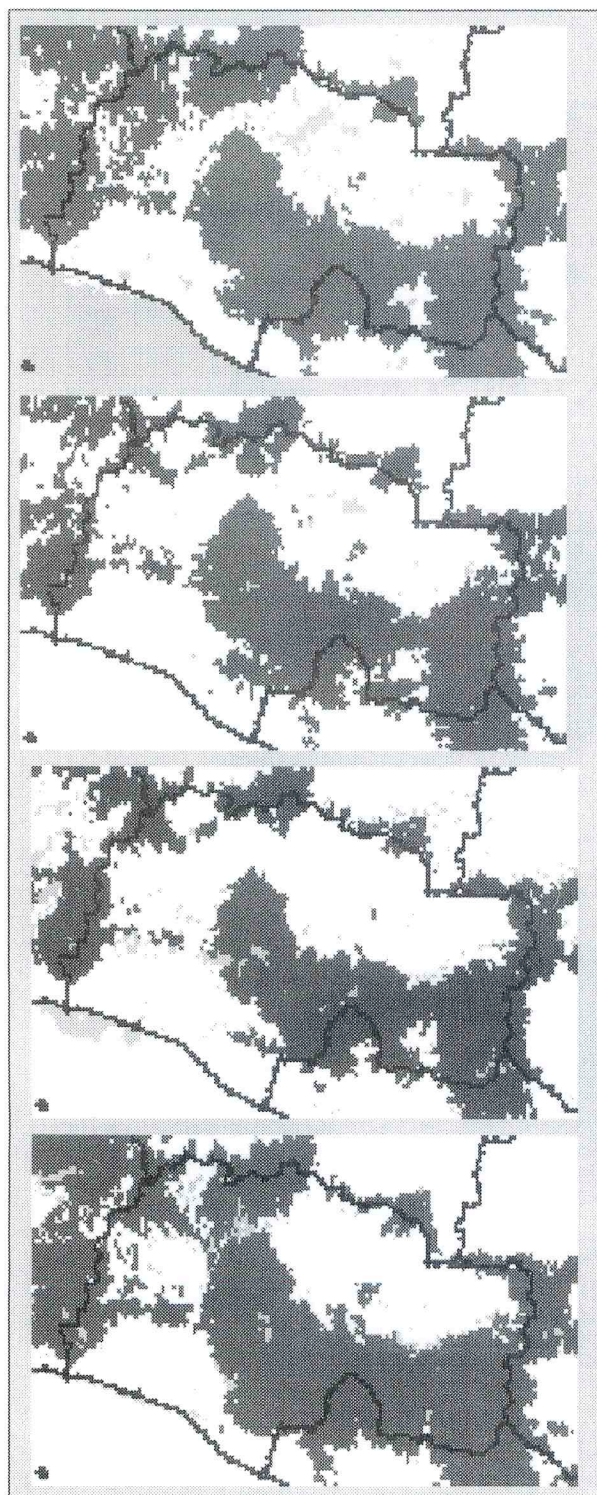


図3. スギ花粉の最大飛散日に対応したNOAA衛星画像
 黒い部分が残雪域，灰色の部分は曇域，白色の部分は消雪域を示す。
 庄内平野，新庄盆地，山形盆地，米沢盆地が連続した一つの消雪域になっている。山で
 は鳥海山から神室山，御所山，蔵王山，吾妻山，飯豊山，朝日連峰を経て月山まで残雪
 域になっている。

97/03/28

95/04/07

92/04/03

91/04/04

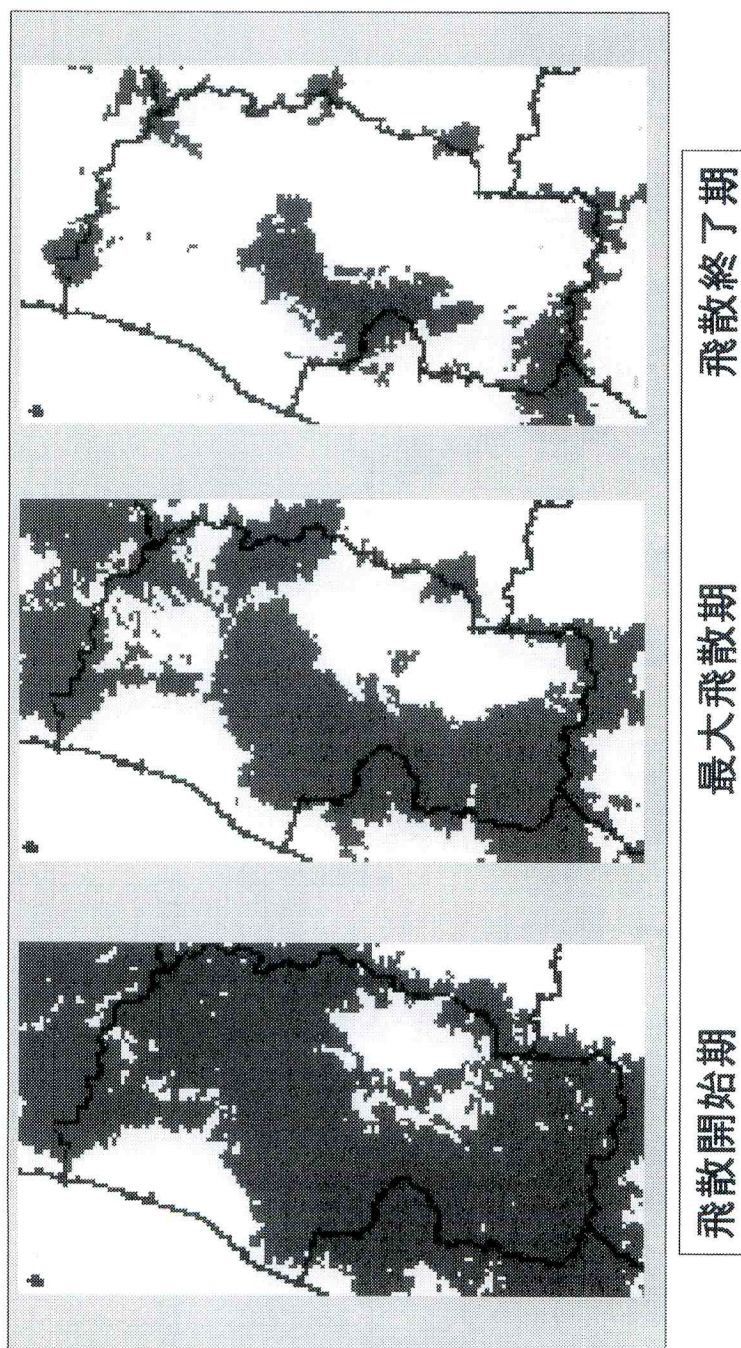


図4. 雲域除去後の平均化した雪形

表1～表3に示す花粉飛散ステージの各データをもとに9年間の平均的な残雪状況を求めたもので、この図をもとに現在の花粉飛散ステージを予想することができる。

表 1. スギ花粉飛散開始日（1月1日からの日数）

年	酒田	鶴岡	新庄	山形 1	山形 2	米沢	長井	平均	画像	ずれ
1989	55	58	58	54	65	58	58	58	54	4
1990	59	58	59	51	51	51	58	55	53	2
1991	77	63	63	65	64	62	73	67	64	3
1992	66	66	69	66	67	68	66	67	67	0
1993	54	57	58	54	59	58	59	57	64	-7
1994	81	67	76	76	80	81	76	77	77	0
1995	69	60	69	60	59	59	60	62	59	3
1997	60	nd	60	60	62	59	nd	60	59	1
1998	62	nd	66	71	62	61	nd	64	65	-1

画像：使用した NOAA 画像の日付

ずれ：開始日の平均と使用画像とのずれ（日）

nd：花粉飛散の調査は行っていない

表 2. スギ花粉最大飛散日（1月1日からの日数）

年	酒田	鶴岡	新庄	山形 1	山形 2	米沢	長井	平均	画像	ずれ
1989	72	71	73	86	91	88	86	81	86	-5
1990	88	88	78	89	89	89	89	87	89	-2
1991	101	95	101	96	97	101	101	99	96	3
1992	95	95	95	94	94	94	95	95	93	2
1993	91	84	84	91	105	95	84	91	87	4
1994	97	94	97	97	97	97	97	97	101	-4
1995	89	89	91	97	97	98	97	94	97	-3
1997	88	nd	88	89	87	89	nd	88	88	0
1998	86	nd	88	89	88	88	nd	88	94	6

画像：使用した NOAA 画像の日付

ずれ：最大飛散日の平均と使用画像とのずれ（日）

nd：花粉飛散の調査は行っていない

表 3. スギ花粉飛散終了日（1月1日からの日数）

年	酒田	鶴岡	新庄	山形 1	山形 2	米沢	長井	平均	画像	ずれ
1989	93	93	103	106	99	105	97	99	97	2
1990	105	105	104	105	102	102	102	104	100	4
1991	109	107	120	119	120	120	114	116	109	7
1992	106	110	103	110	110	110	110	108	109	-1
1993	117	112	118	118	118	118	118	117	117	0
1994	105	105	117	118	116	108	118	112	111	1
1995	131	nd	131	140	130	128	143	134	131	3
1997	112	nd	120	117	106	120	nd	115	111	4
1998	111	nd	114	112	109	107	nd	111	110	1

画像：使用した NOAA 画像の日付

ずれ：飛散終了日の平均と使用画像とのずれ（日）

nd：花粉飛散の調査は行っていない

られた。つまり、開始期では庄内平野と山形盆地に雪がみられなくなった時期に一致していた。ただし開始期は降雪期なので数日前の降雪が影響し、はっきりしない場合（1995年）があった。最大期では庄内平野から新庄盆地、山形盆地、米沢盆地までの最上川に沿った低地には連続して雪がなく、鳥海山のある丁岳山地、神室山地、奥羽山脈、飯豊山地、朝日連邦、月山には連続した残雪がみられる時期であった。終了期は蔵王山、鳥海山、月山、朝日連邦、神室山、御所山の標高が1,000m～1,500m以上に残雪がみられる時期（山により標高は異なる）に一致していた。花粉飛散ステージごとに表1～3の各地域のデータに近い画像で雲がない部分を切り出し重ね合わせ平年化した各飛散ステージの雲域を除去した雪形を図4に示した。以上の結果よりNOAA画像からの雪形とスギ花粉の飛散ステージが対応していることがわかった。

考 察

我々の目的は衛星画像から得られた雪形を利用しスギ花粉の飛散ステージを予測することにある。衛星リモートセンシングのデータは反復性・広域性といった特徴を有する。解像度についていえば、最近ではアメリカの軍事技術を転用した民需要の地域観測衛星IKONOS衛星で1mという高解像度のデータを得ることができるようになった。使用頻度の高い衛星にはLANDSAT衛星やSPOT衛星などがある。これらの衛星のデータを処理し3次元表示することで多様な空間情報の解析が可能になりつつあるものの、衛星周期から日ごとあるいは時間毎の広域情報をリアルタイムに利用することはできない。日々の情報をリアルタイムに利用するのであれば、解像度は低いがNOAA衛星や“ひまわり”衛星が考えられる。我々は衛星画像として、解像度、反復性を考慮してNOAA衛星の画像を用いることにし、スギ花粉の飛散ステージのリアルタイム予測への可能性を検討した。衛星画像を用いた生物季節の検討は10数枚の衛星画像を1ヶ月くらいの間隔で解析した例^(8, 9)はみられるものの、9年間にわたるデータを解析したのはこの報告が初めてである。

過去に行った現地調査によれば、ちょうど雪が消えた場所のスギが開花し始めていたので、当初は雪線の移動とスギ開花場所の移動との関係を調べた。しかしスギ開花のポイント調査と衛星からの雪線との間に一定の関係を導くことはできなかった。それは同一標高

の場所でも山の斜面の向きや斜度の違いによりスギの開花時期が2週間近くも異なることがわかっているが、そのようなことが原因しているものと推察された。そこで、ローカルな現象は無視し、衛星から得られた広範囲の雪情報を利用できないかという考に至った。

ところで、降雪期は12月から1月と早い年があれば2月から3月と遅い年もある。また年により大雪の年もあればほとんど雪が降らない年もある。今までの経験から、降雪期が遅れた年はスギ花粉の飛散ステージも概して遅れることがわかっている。今回得られた結果では、開始期は雪形と花粉飛散ステージとの関係がやや不鮮明なことがあった。開始時期は、95年のようにまだ降雪が生じることがある。また、この時期の雪形を形成している場所は盆地や平野の周囲であり、同様の条件を持つ地域が広く分布している。そのため衛星画像撮影時期直前の降雪や気温・日射による消雪の結果、雪線が大きく移動し、雪形が変形しやすいためと考えられる。一方、最大期や終了期には、雪形との関係が鮮明に現れた。降雪がほぼ生じない時期になり、雪線が山岳地域に位置するため、消雪による雪形の変形が緩やかになるためと考えられる。最大期や終了期の画像を相互に比較してみると、衛星撮影日が4日～7日遅い画像では融雪が進み雪形が後退していた。このことから、最大日や終了日は衛星画像から数日の誤差で判定できるものと考えられる。最大日については先に報告した太陽コロナを観察する方法⁽¹⁰⁾も併用できる。ただし、いずれの方法も雲の存在が障害となっているため相補う方法ではない。人工衛星からの雪形はスギの開花ステージを知る以外にも、スギ林の分布図⁽¹¹⁾を降雪域と重ね合わせることでスギ花粉が発生する恐れのない地域を知ることでもできると考える。

人工衛星画像を用いて生物季節現象を解析する仕事は緒に付いたばかりである^(8, 9)。生物季節現象を空中花粉の飛散ステージと結びつけた仕事は、我々の報告^(12, 13)の他にイタリアのFrenguelliら⁽¹⁴⁾が報告している。今回は宇宙からみた雪形とスギ花粉飛散ステージという一種の生物季節との関係を検討したところ、両者の間には関連があることが明らかになった。

花粉情報への応用としては、現在の雪形の状況を過去の雪形データ（雛形）と対比することで現在のスギ花粉の飛散ステージを予測することができると考えられる。今回はNOAAの昼ごろの画像を使用したため雲域などの関係で数日間も目的の画像が得られないことがあった。今後は“ひまわり”等、時間ごとの画像を入手できる衛星について検討する計画である。

雪形とスギ花粉飛散ステージについては、東北地方、北陸地方、中部地方（日本アルプス）、中国地方（日本海側）などでも同様の手法を用いることができると考える。衛星画像を生物季節と関連づける仕事は空中スギ花粉の飛散ステージの他にも、例えば、落葉樹の芽生えの時期、紅葉の時期あるいはイネ科花粉飛散ステージとの関係等、に応用できるものと考えられる。

謝 辞

本研究は平成12年度山形県企画調整課の産学官連携研究プロジェクト推進事業「花粉アレルギー情報提供システムの開発」および平成12年度文部省地域連携推進研究「衛星観測を用いた山形県の積雪変動に関する広域環境監視手法の開発研究」として行われた。

引用文献

- (1) 平 英彰, 寺西秀豊, 剣田幸子: スギの花粉飛散開始日の予測について. *アレルギー* **41**, 86-92 (1992).
- (2) 小笠原寛, 吉村史郎, 阪上雅史: 休眠打破日からのスギの開花日予測. *日本花粉学会会誌* **43**, 37-40 (1997).
- (3) 金指達郎: スギ雄花の休眠打破のための温度条件(II) — 低温期間の長さ, 変温条件および寒冷期間の中断等の効果 —. *日本花粉学会第40回大会講演要旨集* pp.30, 名古屋市 (1999).
- (4) 高橋裕一, 小野正助, 小野 静, 石森久子, 青木四郎次, 川島茂人他: スギ開花の時期と標高, メッシュ気温との関係. *日本花粉学会会誌* **39**, 113-120 (1993).
- (5) 納口恭明: Yukigata of the year '96, '97. *雪氷* **60**, 1-2 (1998).
- (6) Y. Nohguchi, K. Kawashima, T. Kobayashi et al.: Remaining snow patterns in mountains, Yukigata, as a scene in spring. *In Snow Engineering: Recent Advances*. Izumi, Nakamura & Sack (eds). Balkema, Rotterdam, ISBN 90541086667. pp.549-552 (1997).
- (7) 長野 準: 空中花粉測定および花粉情報の標準化委員会活動報告, *アレルギー* **23**, 44-45 (1994).
- (8) 古橋大地, 隈元 崇: 衛星, 標高, 気温データを用いた富士山における植物季節変化についての考察. *日本リモートセンシング学会, 第27回学術講演会論文集*, pp.235-236, 熊本市 (1999).
- (9) 栗屋善雄, 田中伸彦: 冷温帯森林の反射スペクトルの季節変化の特徴: ランドサット TM データを利用した解析. *写真測量とリモートセンシング* **38**, 35-46 (1999).
- (10) 高橋裕一, 川島茂人, Jari Piikki: 花粉により生じるコロナ(光環)と空中花粉数との関係 — その花粉予報への応用の可能性 —. *日本花粉学会会誌* **45**, 153-157 (1999).
- (11) 高橋裕一, 川島茂人: 人工衛星画像を利用したスギ林分布図の作成. *日本花粉学会会誌* **45**, 49-54 (1999).
- (12) 山形県衛生研究所: 山形県総合花粉情報システム事業報告書. pp.1-20 (1996).
- (13) 高橋裕一, 相川勝悟: 山形県における主な花粉症原因植物の開花日, 空中花粉数および外来患者数. *アレルギー* **45**, 269-269 (1996).
- (14) G. Frenguelli: The use of phenology as a tool in pollen forecasting. *Second European Symposium on Aerobiology*. Vienna pp.25-26 (2000).

