

**投稿論文 (和文)**  
**PAPERS**

# 地理的特性を考慮した最大積雪深予測の実際 —カマキリの卵ノウ高さによる方法—

酒井與喜夫<sup>1</sup>・湯沢 昭<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (株) 酒井無線 代表取締役 (〒940 長岡市新町3-3-15)

<sup>2</sup> 正会員 工博 長岡工業高等専門学校助教授 環境都市工学科 (〒940 長岡市西片貝町888)

一般住宅の冬季の降雪対策や、道路行政における除雪・排雪計画を策定する上で、降雪・積雪予測は不可欠である。しかし、気象予測の観点から見た場合、1週間以内の短期や中期予測に関しては実用的な状況にあるが、1か月以上の長期予測はその予測の地域的な広がりや予測精度の観点から見た場合、必ずしも満足のいく結果とはなっていない。雪国には、古来より気象にまつわる諺が多くある。その中の1つに「カマキリが高い／低い位置に産卵すると大雪／少雪」と言うのがある。本研究は、カマキリの卵ノウ高さからその年の最大積雪深を予測しようとするものであり、その予測結果についての時系列的な検証と、実際の予測方法の提案を行うものである。

**Key Words :** *mantis's egg sack, maximum snow depth, forecast, regression analysis, time series analysis, niigata prefecture*

## 1. はじめに

気象予測の1つに降雪予測がある。これは予測精度の観点から見ると、予測時間が長くなればなる程予測の精度が低下することは一般の気象予測と同様であるが、工学的な観点から降雪予測の必要性を整理すると以下のようなことが考えられる。まず短期予測は予測時間によってさらに2種類に分けられ、1~6時間先の超短期予測と、6~24時間程度の短期予測である。超短期予測の利用方法としては<sup>1)</sup>、降積雪による障害発生初期段階における障害発生箇所の監視や即時的な作業に関する指示等がある。短期予測については、除雪作業のための待機指示や出勤時期の判断、雪寒対策の準備、さらには、道路利用者に降積雪の情報を提供し、交通渋滞の緩和や事故防止等にも役に立っている。1日から1週間程度の中期予測の利用法としては、屋根雪や路側の雪堤の除排雪のための時期の判断や除雪機械や作業人員の編成計画等がある。一方、長期予測(1~3か月)は降雪が観測される以前に予測する必要がある、除雪ステーションの設置や除雪機械・人員の配置計画、さらには道路除雪計画の予算の立案等に活用されている。

このように降雪予測は、降積雪地域の道路除雪や

屋根雪処理のための気象情報としては不可欠なものである。予測としては、気象台が定期的に発表するもの以外に道路管理者(建設省、道路公団等)や地方自治体で独自の予測方法を開発している。具体的には、予測地域の気象データ(高層天気図・気温・風速等)をもとに、統計学的方法(重回帰分析や判別分析等)を採用している<sup>2)</sup>。このような統計学的方法は、降雪予測の短期から中期予測に関しては実用的な段階にあるが、長期予測はその予測の地域的な広がりや予測精度の観点から見ると、地域的な除雪計画を立案する上では必ずしも満足いくものではない。

雪国には古来より自然現象の中から気象の予想を行うような「諺／言い伝え」が数多く存在する<sup>3)</sup>。その中の1つに「カマキリが高い／低い位置に産卵すると大雪／少雪」と言うのがある。著者らは、このような言い伝えをもとに積雪深予測の可能性についての研究を進めて来た。すなわち、カマキリの卵ノウ高さからその年の最大積雪深を予測しようとするものである。これは「カマキリが、卵を樹木の枝葉等に生みつける場合、冬季間の積雪により雪の中に埋没しないような高さを選んで産卵する」と言う仮説に基づくものである。

著者は、すでに「カマキリの卵ノウ高さに着目し

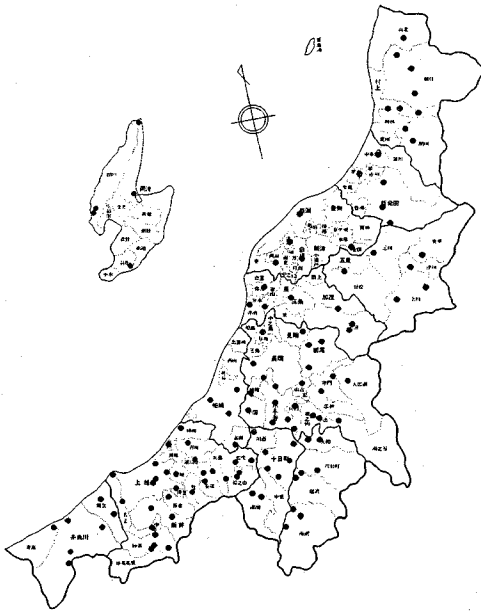


図-1 積雪深観測地点（新潟県）

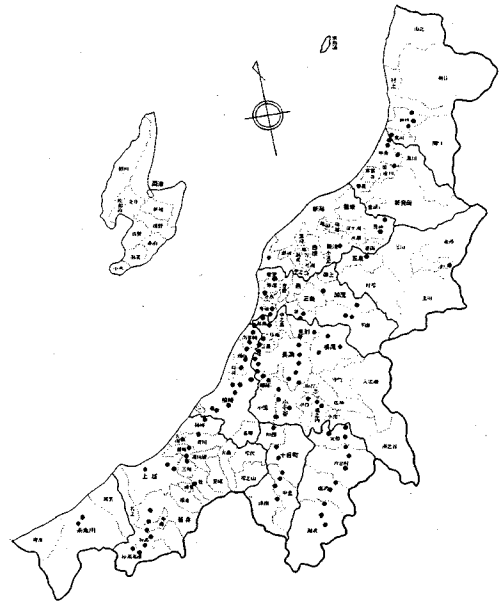


図-2 卵ノウ高さ観測地点（平成6年度）

た最大積雪深予測の可能性」<sup>4)</sup>についての論文を公表しているが、その内容は単年度の結果に基づくものであり、また具体的な予測の方法については特に記述をしていない。本論文は、時系列分析を中心として予測の妥当性の確認と、新潟県の地理的な特性を考慮した予測方法の提案を行うことを目的としている。

## 2. 本研究で使用する諸データの内容

カマキリの卵ノウの高さから、その年の最大積雪深を予測し、その妥当性を評価するためには積雪深の観測データが不可欠である。本研究においては以下に示すようなデータを採用した。

### (1) 最大積雪深に関する観測データ

観測積雪深データは、新潟県が毎年発行している「新潟県降積雪及び気温観測調査報告書」<sup>5)</sup>を採用する（翌年度の7月に発行）。これは新潟県が県内の小中学校や各種行政機関に委託して、毎日記録した結果（87カ所）と、気象庁の地域気象観測所のデータ（39カ所）の計126カ所からなっている。その内容は、毎日の降積雪量、積雪深、及び気温データから構成されている（観測地点は図-1を参照）。ただし、本論文では地理的に特殊な条件にある佐渡地方のデータは採用していない。また観測年度により若干の欠測値があるため、データ数は年度により異なる。

### (2) カマキリの卵ノウ高さに関する観測データ

カマキリの卵ノウ高さからその年の最大積雪深を予測するためには、どのような場所における卵ノウでも良いと言うものでもない。例えば、冬には枯れてしまうような草や低木に生みつけられ卵ノウは、冬季間雪に埋もれてしまうことが多いため、調査の対象とはならない。また、人家の庭先や軒下等の卵ノウは、人工的な環境にあるため積雪深との関係を見いだすことは困難である。従って、本研究では人家や市街地から離れた杉林を調査対象としている。なお、産卵場所の詳しい特性については、参考文献4),6)を参照のこと。

卵ノウ高さデータは、著者が実際に観測・記録したものであり、平成6年度の実績としては、調査地点は新潟県を中心として（一部長野県と富山県を含む）約200カ所、実際に卵ノウ高さを記録した地点が137カ所であり、総観測卵ノウ数は約1,200個である（1カ所当たり平均8.8個、観測地点は図-2）。なお、卵ノウの調査は例年9月中旬から10月下旬まで行い、その結果を基に11月初旬に新潟県内の市町村約60カ所における最大積雪深の値を予測し、主な機関を対象として公表している。新潟県内での最大積雪深は、例年1月末から2月にかけて観測されることが多いため、約3ヶ月前に予測を行うことになる。

本研究では、卵ノウ高さとして次に示すような3種類の値を考慮している。なお、調査対象している樹木は、樹高が6~7m以内の杉の木である。

「高さ1」：卵ノウの自然な状態における地上高。

表-1 地形と林相による卵ノウ高さの補正例

地点	高さ1 (cm)	高さ2 (cm)	各項目別の補正係数				総合	高さ3 (cm)
			項目1	項目2	項目3	項目4		
1	126	51	0.6	1.3	0.95	1.0	0.74	38
2	116	46	0.8	1.3	0.90	1.2	1.12	52
3	187	123	0.7	1.5	0.90	1.0	0.95	116
4	100	33	0.7	1.4	1.00	1.0	0.98	32
5	162	81	0.4	1.5	1.00	1.0	0.60	49
6	97	42	1.0	1.3	0.80	1.0	1.04	44
7	110	107	0.4	1.3	0.95	1.0	0.49	53
8	156	134	0.7	1.3	0.85	1.1	0.85	114
9	330	235	0.5	1.7	0.95	1.0	0.81	190
10	122	76	0.7	1.3	0.80	1.2	0.87	66

注) ・高さ1は、自然の状態での卵ノウの高さ  
 ・高さ2は、枝を引き下げた状態での卵ノウの高さ  
 ・高さ3は、各項目による補正後の卵ノウの高さ(高さ×総合)  
 ・項目1は、吹き溜まりによる補正係数  
 ・項目2は、樹高による補正係数  
 ・項目3は、斜面方位角による補正係数  
 ・項目4は、斜面傾斜角による補正係数  
 ・総合は、項目1から項目4の係数を乗じた値

「高さ2」：卵ノウが付着している木の枝を引き下げた状態での地上高。杉の木の枝は、約30°上向きに伸びており、その枝が折れない程度に引き下げた状態での卵ノウ高さを計測する。これは冬季間枝葉に積もった雪の重みにより、枝が垂れ下がった状態を想定している。

「高さ3」：卵ノウの観測地点を平坦地と仮定した場合の卵ノウ高さ。

「高さ3」は、「高さ2」の結果を基準とし、地形(傾斜や起伏)と林相(樹木の高さや樹木間隔)により補正を行った後の高さである。これは一般的にカマキリが好んで産卵する場所は、丘陵や山間部の杉の木の枝葉に多く見られ、このような場所は冬季間の季節風の影響により、雪の吹き溜まりや吹きさらしの状態になるため、積雪深が大きく変化する。また、地形の傾斜や起伏の状態によっても同様な現象が発生することが確認されている<sup>7)</sup>。さらに斜面の傾斜角や方位によっては、積雪状況や融雪状況が変化するため、結果的に積雪深が異なることになる。従って、このような場所にある卵ノウの高さから平坦地での積雪深を予測(地形や樹木等の影響のない地点での積雪深に換算)するためには、地形と林相による影響を補正する必要がある。具体的には、下記の項目について補正を行っている。なお、いずれの補正も地形の状態や樹木の影響を受けない平坦地を基準(補正係数=1.0)としている。具体的な補正方法と補正係数については参考文献4)を参照のこと。

① 吹き溜まり、吹きさらしによる補正：雪の吹き溜まり・吹きさらしの現象は、風の方向とその強さに大きく影響を受ける。ここでは地形の変化と林相による影響を考慮している。すなわち、地形的に見て吹き溜まりになるような場所(窪地等)は、平坦地と比較して相対的に積雪深が大きくなるため、補正係数は1.0未満となり、逆に風当たりの強い丘陵

部では1.0以上の値となる。また林相による補正は、樹木の枝下高さの違いにもよるが、樹木群の前面や後面(風の吹く方向に対して)で吹き溜まり現象になるため、補正係数は1.0未満の値となる。

② 樹高による補正：樹木の付近では、枝葉に積もった雪がその重みで落雪・堆積するが、樹木の真下では相対的に積雪深は小さくなる。このような現象は、樹木の高さが高くなるほど顕著となるため、補正係数は、樹高が1m程度の杉の木を1.1とし、樹高が高くなるほど大きな値としている(7mで1.7)。

③ 地形による補正：地形による補正は、斜面の方位角と傾斜角を考慮している。方位角による影響は、北側斜面と南側斜面を比較した場合、日当たりの条件により融雪早さが異なるため、結果的に北側斜面の方が積雪深が大きくなる。従って、補正係数としては、南側斜面を1.0とした場合、北側斜面は1.0未満となる(実際の係数は、N220°前後を1.0とし、N40°付近を0.8とし、その間は比例配分している)。傾斜角による補正は、平坦地を1.0とし、傾斜角が大きくなるほど積雪深は相対的に小さくなるため、係数としては大きくなる(30°で1.16)。

以上の補正の中で樹高と地形による補正は比較的容易に行うことが可能であるが、吹き溜まり・吹きさらしによる補正は、若干の経験が必要とされる。すなわち、このような現象は、風の強さと向きにより大きく影響を受けるため、現地での観測が不可欠となる。なお、これらの補正方法やその係数は、過去30年間に渡る現地観測の結果から算出したものであり、平成元年度からは同じ補正係数を採用している。その他の補正項目としては、枝葉の密度、産卵した枝の方位角等が考えられるが、この点については現時点では考慮していない。具体的な補正例の一部を表-1に示す。例えば地点1では、自然の状態における卵ノウ高さ(高さ1)が126cm、その枝を引き下げた状態(高さ2)が51cmである。また補正としては、吹き溜まり・吹きさらし(項目1)による補正係数が0.6、樹高による補正が1.3、斜面方位角による補正が0.95、そして斜面傾斜角による補正が1.0である。これらの各補正係数をもとに「高さ3」の値を次式により算出する。

$$\text{「高さ3」} = (\text{補正1}) \times (\text{補正2}) \times (\text{補正3}) \times (\text{補正4}) \times (\text{高さ2}) \quad (1)$$

高さ3: 平坦地と仮定した場合の卵ノウ高さ(cm)  
 補正1: 吹き溜まり・吹きさらしによる補正係数  
 補正2: 樹高による補正係数  
 補正3: 斜面方位角による補正係数  
 補正4: 斜面傾斜角による補正係数  
 高さ2: 卵ノウが付着している枝を引き下げた状

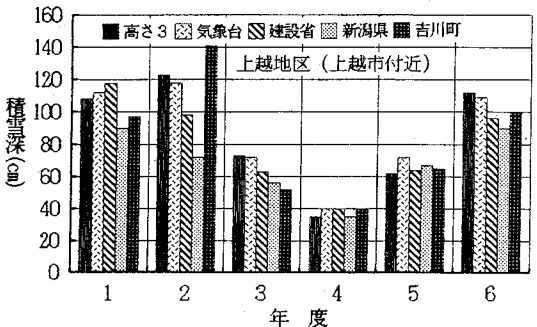
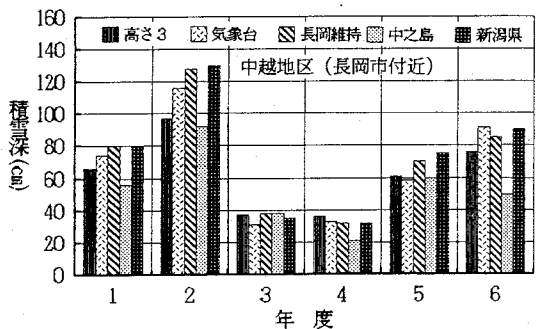
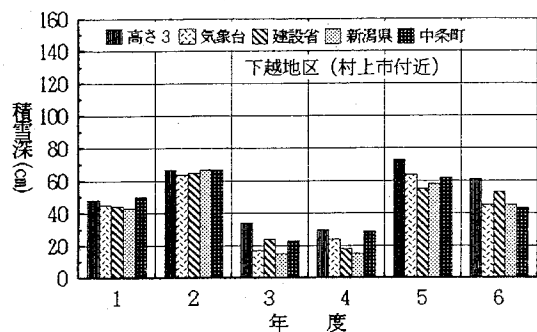


図-3 卵ノウ高さと最大積雪深観測値

態での地上高(cm)

その結果、最終的に38cmと計算される。この値が、卵ノウ観測地点を平坦地と仮定した場合の卵ノウ高さとなる。ただし、「高さ1」「高さ2」の値は、ほぼ地形や林相の状況が同じであるような場所における複数の卵ノウ高さの平均値を用いている。本研究では、この「高さ3」の値をもって最大積雪深の予測値としているが、このような方法により得られた予測値の妥当性を評価する必要があるが、図-1と図-2から明らかなように両者の観測地点が異なるため、直接比較検討することは出来ない。従って、積雪深の実測値とカマキリの卵ノウ高さから求めた予測値を同一な方法により基準化し、比較・分析する必要がある。

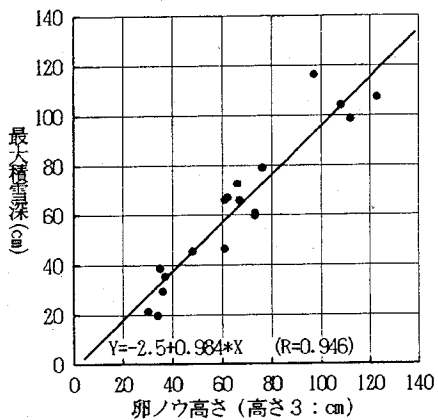
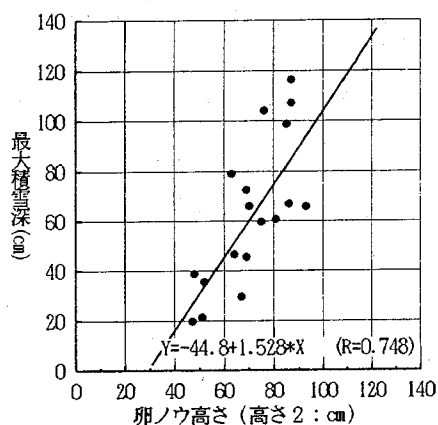
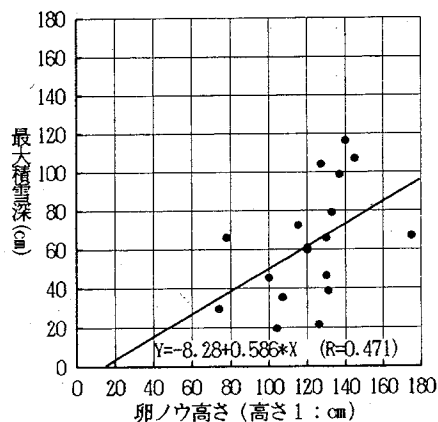


図-4 最大積雪深と卵ノウ高さ

3. 地理的特性を考慮した最大積雪深の予測

(1) 卵ノウ高さと最大積雪深との関係

図-3は、卵ノウ観測地点(図-2)と積雪深観測地点(図-1)の中から地理的に近い地点を選び、予測値(高さ3の値)と最大積雪深の実測値との比較を時系列的に行った結果である(平成元年度から

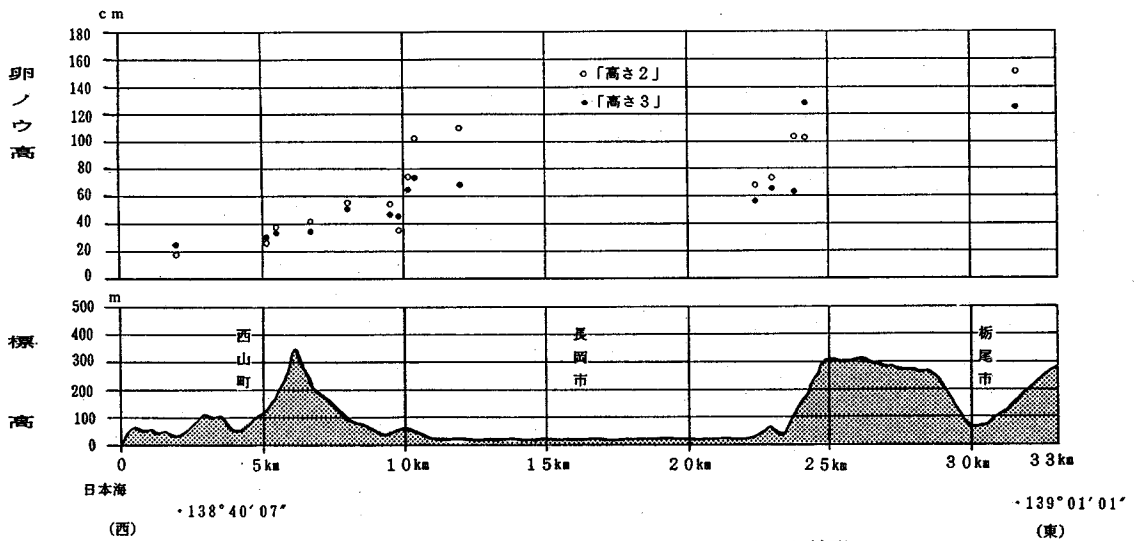


図-5 新潟県中越地方における卵ノウ高さとの地形

6年度)。なお、積雪深観測地点としては新潟県内から、下越地区（村上市付近）、中越地区（長岡市付近）、及び上越地区（上越市付近）の3カ所を選んだ。積雪深の観測は、同じような地域において複数の観測機関が実施しており（気象庁、建設省、新潟県、及び各市町）、図から分かるように機関によって観測値にバラツキが見られるが（観測誤差も考えられるが、観測地点の地理的な状況が異なる）、カマキリの卵ノウ高さによる予測値と観測値との間には明らかな関係が見られる。中でも上越市付近は、積雪深が40cmから140cmまで年により大きく変化しているが、卵ノウによる予測結果も同様な傾向を示している。

図-4は、図-3に示した各機関による最大積雪深の観測値を年度別に平均し、カマキリの卵ノウ高さによる予測値との関係を分析した結果を表している。ただし、卵ノウ高さとしては、前述した「高さ1」から「高さ3」毎に分析を行った。これらの結果から明らかなように、「高さ1」よりは「高さ2」、「高さ2」よりは「高さ3」の方が最大積雪深との関係が統計学的に見てより有意な関係にあることが分かる。このことから単にカマキリの卵ノウ高さ（高さ1）に着目した方法では、その予測値の信頼性はかなり低いが、著者が提案しているような補正を行うことにより、予測の信頼性が増加することが分かる。このことは前書きにも記述したように、「カマキリが高い/低い位置に産卵すると大雪/少雪」と言う諺は、単に卵ノウの産卵位置を観察し、その高さだけから最大積雪深を予想するのは無謀であることを意味している。

このように卵ノウの観測地点とその付近における最大積雪深との間には、相関関係が認められるが、問題は卵ノウの存在しない場所における積雪深の予測をどのように行うかにある。図-5は、新潟県の中越地域の東西方向における卵ノウ観測地点の卵ノウ高さの分布を表わしたものであり、○が「高さ2」を、●が「高さ3」の値を示している。観測地点は主に山間部に集中しており、また卵ノウ高さも内陸部（東側）ほど高くなる傾向にある。このように卵ノウ高さとの地理的条件との間には、明らかに何らかの関係が認められる。

## (2) 最大積雪深と地理的特性との関係

石原は<sup>9)</sup>、新潟県の最大積雪深推定モデルの作成に当たって、緯度、経度、標高の他に地形要因として起伏度、陸度、傾斜、曲率等18の要因を考慮したモデルを作成している。これは最大積雪深の値が地理的・地形的な要因により説明が可能であるとの仮説に基づいているものである。本研究でもこの仮説を採用し、カマキリの卵ノウ高さ観測地点以外の地点における予測方法の検討を行う。すなわち、最大積雪深の観測値を目的変数に、説明変数として地理的・地形的な要因を考慮した重回帰モデルを作成する（以下、モデル1とする）。同様にカマキリの卵ノウ高さから求められた「高さ3」の値を目的変数に、説明変数にはモデル1と同じ変数を用いて重回帰分析を行う（以下、モデル2とする）。そして2つのモデル式を比較することにより、予測の妥当性を検討する。その結果、十分な妥当性が認められた場合には、モデル2を採用することにより任意の地

表-2 最大積雪深と地理的要因との関係

年度	定数	地理的要因			重相関係数	標本数
		緯度	経度	標高		
4年度	35.0	-2.25 (5.89)	1.40 (5.09)	0.30 (8.51)	0.880	92
5年度	64.3	-1.36 (4.91)	0.96 (4.47)	0.31 (11.6)	0.883	110
6年度	84.9	-2.37 (6.02)	1.44 (4.49)	0.40 (9.68)	0.898	83

注) ・緯度は、北緯37°を0として標準化してある  
 ・経度は、東経138°を0として標準化してある  
 ・( )の数値は、t値を示す

点の最大積雪深を予測することが可能となる。なお、地理的・地形的要因としては、緯度、経度、及び標高を採用する(式(2)参照)。

$$Y_j = a_0 + a_1 X_{1j} + a_2 X_{2j} + a_3 X_{3j} \quad (2)$$

$Y_j$ : 地点(j)の最大積雪深(cm)

$X_{1j}$ : 地点(j)の緯度(北緯37°を0として標準化, 単位: 分)

$X_{2j}$ : 地点(j)の経度(東経138°を0として標準化, 単位: 分)

$X_{3j}$ : 地点(j)の標高(m)

$a_i$ : パラメーター

表-2は、式(2)の目的変数に平成4年度から6年度までの最大積雪深の値を(図-1参照)、説明変数に各観測地点の緯度・経度・及び標高の値を用いて分析した結果である。表から明らかなように各要因のt値も十分高く、また重相関係数の値も満足のいく結果となっている。パラメーターの値から判断すると、新潟県においては緯度が高くなるほど積雪深は小さく、また経度と標高が高くなるほど積雪深の値が大きくなるのが分かる。これは新潟県の地理的な特性に基づくところが大きい。すなわち、新潟県はほぼ45°の傾きで南西から北東方向に海岸線があり、また北部には新潟平野が広がっているため、積雪の状況も南部の方が大きくなる傾向にあり、これは新潟県特有のものである。このように新潟県における最大積雪深の値と地理的な要因との間には、統計学的な関係が認められた。

### (3) 卵ノウ高さとの関係

表-2の結果と同様に、式(2)の目的変数として「高さ1」から「高さ3」の値を、また説明変数に卵ノウ観測地点の緯度・経度・及び標高の各データを代入し、重回帰分析を行った結果が表-3である(平成4年度から6年度までの結果)。表から明らかなように「高さ1」よりは「高さ2」、「高さ2」よりは「高さ3」の方が、より地理的な要因との関係が統計学的に見て有意な結果となっており、図-4に示したものと同様な結果となっている。また年度が新しいほど重相関係数が上昇しているが、これ

表-3 卵ノウ高さとの関係

年度	ケース	定数	地理的要因			重相関係数	標本数
			緯度	経度	標高		
4年度	ケース1(高さ1)	84.1	-1.44 (3.75)	1.32 (3.26)	0.16 (2.42)	0.378	92
	ケース2(高さ2)	37.5	-1.57 (5.11)	1.38 (4.27)	0.16 (2.95)	0.483	92
	ケース3(高さ3)	10.6	-1.80 (7.30)	1.62 (6.24)	0.23 (4.73)	0.620	92
5年度	ケース1(高さ1)	90.2	-1.05 (2.53)	0.95 (2.89)	0.083 (1.70)	0.380	109
	ケース2(高さ2)	28.3	-0.89 (3.08)	0.96 (3.87)	0.12 (3.46)	0.537	109
	ケース3(高さ3)	5.7	-1.84 (6.21)	1.52 (5.96)	0.26 (7.42)	0.796	109
6年度	ケース1(高さ1)	119.8	-1.82 (4.66)	1.16 (4.21)	-0.03 (0.93)	0.427	135
	ケース2(高さ2)	57.7	-2.04 (7.19)	1.52 (7.59)	-0.004 (0.16)	0.634	135
	ケース3(高さ3)	80.7	-4.00 (10.6)	2.16 (8.13)	0.095 (2.95)	0.833	135

注) ・ケース1は、卵ノウの地上高より算出  
 ・ケース2は、枝を引き下げた状態での卵ノウ高より算出  
 ・ケース3は、補正後の卵ノウ高より算出  
 ・緯度は、北緯37°を0として標準化してある  
 ・経度は、東経138°を0として標準化してある  
 ・( )の数値は、t値を示す

は前年度の結果を参考に卵ノウ高さの計測方法やその修正方法を改良した結果である。

このように最大積雪深と地理的要因、卵ノウ高さとの間にはある程度のある関係があることが明らかとなった。次に問題となるのは、表-2に示した最大積雪深と地理的要因との関係が年度により異なるかである(表-3も同様)。もし年度によりそれらの関係が異なる場合には、最大積雪深の予測に当たっては、過去のデータは使用できないことを意味している。

## 4. 予測式の時系列的検定と予測精度の検証

観測最大積雪深と卵ノウ高さから算出した予測値は、いずれも地理的な要因(緯度、経度、標高)により説明できることが分かった。本章では、これら年度別回帰式(表-2、表-3)の統計的な有意検定と、卵ノウ高さから予測した最大積雪深の予測精度の有効性について検討を行う。

### (1) 回帰式の時系列的検定

表-2、表-3に示した回帰式を年度別に比較した場合、統計的に判断して有意な差があるかどうかを検定する。もし、統計的に有意な差がある場合には、年度により積雪パターンや卵ノウ高さパターンが異なるため、予測に当たっては過去のデータを採用することは困難であると言える。

この場合の検定方法としては、以下に示す方法を採用する。すなわち、比較する年度の積雪深データ(あるいは卵ノウの「高さ3」のデータ)をプールした上で式(2)を適用し、各要因のパラメーターを



表-4 モデル1の検定結果

		残差平方和	自由度	F値
4年度と	S0	288,332	198	11.2
	S1	235,226	194	
5年度と	S2	53,106	4	14.8
	S0	322,876	189	
6年度と	S1	245,772	185	29.7
	S2	77,104	4	
4年度と	S0	451,183	171	29.7
	S1	266,314	167	
6年度	S2	184,869	4	

表-5 モデル2の検定結果

		残差平方和	自由度	F値
4年度と	S0	214,861	197	14.5
	S1	165,348	193	
5年度と	S2	49,513	4	25.0
	S0	381,033	240	
6年度と	S1	267,742	236	13.5
	S2	113,291	4	
4年度と	S0	318,790	223	13.5
	S1	255,836	219	
6年度	S2	62,954	4	

計算する。そして、求められたパラメーターの値が各々の年度別のパラメーターと等しいかどうかを検定する。すなわち帰無仮説 (H<sub>0</sub>) を

$$H_0: a_0 = a_{0k}, a_i = a_{ik} \quad (3)$$

a<sub>0</sub>: 複数年度をプールした場合の定数項

a<sub>0k</sub>: 年度(k)のデータのみを使用した定数項

a<sub>i</sub>: 複数年度をプールした場合のパラメーター値

a<sub>ik</sub>: 要因(i), 年度(k)のパラメーター値

とし、それに対応する仮説 (H<sub>1</sub>) を

$$H_1: \text{全ての対応する係数は等しくない}$$

とした場合、帰無仮説が棄却できるかどうかを検定する。上記、2つの仮説を証明するためには、年度別の回帰式の残差 (e) と複数年のデータをプールした場合の回帰式の残差を比較する。

$$S_0 = e' \cdot e \quad \text{自由度 } n-k-1 \quad (4)$$

$$S_1 = \sum e_i' \cdot e_i \quad \text{自由度 } n-p(k+1) \quad (5)$$

$$S_2 = S_0 - S_1 \quad \text{自由度 } (p-1)(k+1) \quad (6)$$

k: 要因数, p: プールした年度数 (p=2), i=1, p

S<sub>0</sub>: 複数年度をプールした場合の残差平方和

S<sub>1</sub>: 年度別の残差平方和の合計

F値は次のようになる<sup>9)</sup>。

$$F = \frac{S_2 / ((p-1)(k+1))}{S_1 / (n-p(k+1))} \quad (7)$$

従って、式(7)から求められた値は、自由度 ((p-1)(k+1), (n-p(k+1))) のF分布に従うことが分かっているから、F検定を行うことにより、年度間の回帰式の有意差検定を行うことができる。

表-4は、表-2に示した最大積雪深の回帰式が年度間で統計的に異なるかを判定した結果である。この場合の判定基準となるF<sub>0</sub>値は、有意水準0.05 (0.01), 自由度 (4, ∞) で2.37 (3.32) となるため、いずれの組み合わせも統計的に判断して帰無仮説が棄却されることになる。すなわち、年度別の回帰式の間には共通性が認められないことになる。同様に表-3に適用した結果が表-5である。この場合も表-4同様の結果となっている。このことから、年度により積雪パターンや卵ノウ高さパターンが異なるため、最大積雪深の予測を行うに当たっては、過去のデータを使用することは困難であるということ

になる。すなわち、卵ノウの高さからその年の最大積雪深を予測するためには、毎年卵ノウ高さの観測を行う必要があることを意味している。次に表-3で求められた回帰式を使用して卵ノウ観測地点以外での予測を行った場合の予測精度についての検討を行う。

## (2) 最大積雪深予測精度の検証

本節では、カマキリの卵ノウ高さから求めた予測値と観測から得られた最大積雪深との関係を分析し、予測結果の検証を行う。具体的な方法は以下の通りである。

最大積雪深観測地点 (図-1) を基準とし、その地点における卵ノウ高さによる予測値 (モデル2を使用) と実測値を比較する。この場合、基準値として最大積雪深の実測値を使用してもかまわないが、本研究では最大積雪深の推定値を採用する (表-2に示したモデル1の各要因の値にその地点の地理データを代入することにより最大積雪深の推定値が計算される)。これは表-2と表-3に示した予測式の比較が目的であるためである。式(8)から式(10)は、最大積雪深の推定値と卵ノウ高さによる予測値の関係を分析した結果である。なお、最大積雪深の値として実測値を採用しても両者 (実測値と予測値) の間の関係 (各パラメーターの値) は全く同じであり、単に相関係数が異なるだけである (参考にこの場合の相関係数も記載しておく)。

$$Y_4 = -4.96 + 1.25X_4 \quad (R=0.972, 0.856) \quad (8)$$

$$Y_5 = 48.7 + 1.03X_5 \quad (R=0.986, 0.871) \quad (9)$$

$$Y_6 = 43.0 + 1.08X_6 \quad (R=0.925, 0.821) \quad (10)$$

Y<sub>i</sub>: 平成(i)年度の推定最大積雪深(cm)

X<sub>i</sub>: 平成(i)年度の卵ノウ高さによる予測値(cm)

R: 相関係数 (2番目の値は、Y<sub>i</sub>の値を実測値とした場合の相関係数)

もし、モデル1とモデル2が完全に一致する場合には、式(8)から式(10)の定数項は0となり、Xの係数は1.0となる。式(8)は、平成4年度の結果であり、卵ノウ高さから計算した予測値は、Xの係数から観測値に比較して平均25%低めになっていることが分



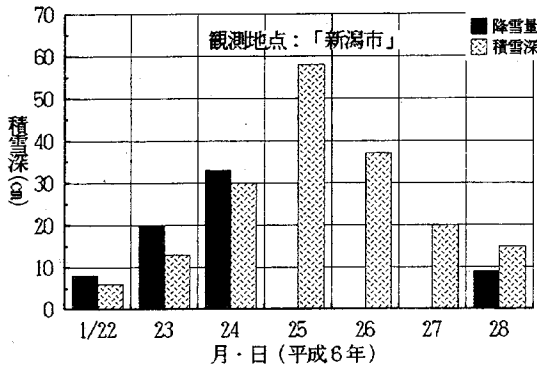


図-6 降雪量と積雪深の変化

かる。また平成5年度の結果からは、係数が1.03と1.0に近いが、定数項が48.7cmとなっており、新潟県全域で平均的に見て49cm低めに予測したことになる（平成6年度も同様）。

このようにカマキリの卵ノウ高さに着目した方法による最大積雪深の予測値は、実測値と比較して小さくなる傾向にあるが、その理由としては以下のようなことが考えられる。すなわち、本研究では卵ノウの高さとして地形や林相が同じような場所において、複数の卵ノウ高さの平均を取っているのに対し、最大積雪深の値は年間の極値（瞬間値）を採用している。従って、最大積雪深の値として極値を含む数日間（例えば、極値前後の3日間を含めた1週間程度）の平均値を考え、その値と予測値との比較を行うのが現実的であると考えられる。このことは実際の積雪深の変化からも言えることである。図-6は、降雪がない場合の積雪深の変化を表した図であり、連続して降雪がない場合には、積雪深は急激に減少する傾向にあることが分かる。

式(11)から式(13)は、式(8)から式(10)に示した最大積雪深の値の代わりに、その最大値を含む前後3日間の平均値（計7日間）と卵ノウによる予測値との関係を表したものである。

$$Y_4 = -15.9 + 1.10 \times X_4 \quad (R=0.971, 0.865) \quad (11)$$

$$Y_5 = 27.5 + 1.01 \times X_5 \quad (R=0.986, 0.865) \quad (12)$$

$$Y_6 = 32.9 + 0.98 \times X_6 \quad (R=0.900, 0.806) \quad (13)$$

パラメーターの値から明らかなように、式(8)から式(10)と比較して、定数項はより0に近くなり、また係数の値も1.0に近づいていることが分かる。このように最大積雪深の値の取り方により予測との結果に多少の違いは認められるが、最大積雪深の方が一般的であり、また統計的にも整備されていることから、本研究においては最大積雪深を採用している。

実際の予測を行うに当たっては、前述したように過去の卵ノウ高さの観測データを使用することは出

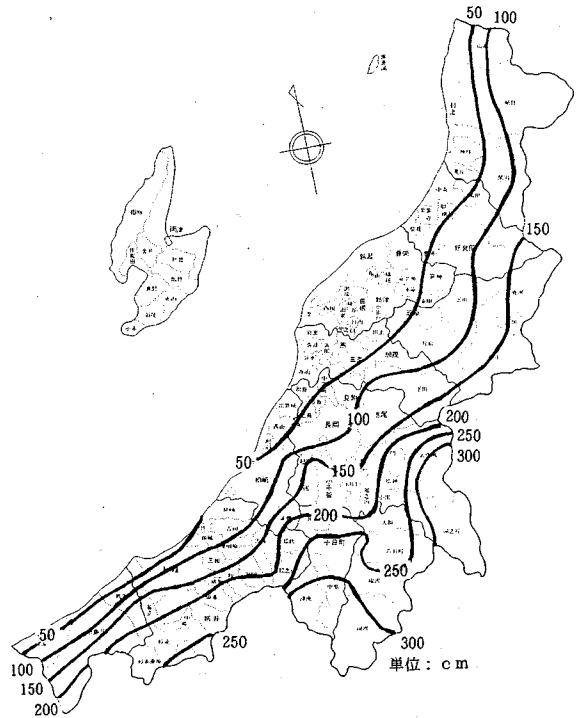


図-7 最大積雪深観測値等深線図（平成6年度）

来ないため、毎年卵ノウ高さの観測を行い、その結果から表-3に示したような回帰式（ケース3）を作成することにより、卵ノウの観測地点以外での予測を行うことが可能となる。

以上の結果から判断して、本研究で提案している方法は十分な利用価値が認められるものと思われる。

## 5. 卵ノウ高さに着目した具体的な予測手順

最大積雪深と地理的特性との関係、及び卵ノウ高さとの関係を統計学的に分析した結果、カマキリの卵ノウ高さに着目した予測方法の妥当性がある程度認められた。本節では、以上の結果に基づいて卵ノウ高さに着目した具体的な予測手順について整理する。最大積雪深の予測は以下の手順に従って行う。

- ① 山間部や丘陵部の枝打ちされていない樹高5~6m以内の杉の木を対象とする。
- ② 地形（傾斜角度、斜面方位）と林相（樹高、樹間密度）が同じような地点を1つの計測単位とする。
- ③ 各地点において複数の卵ノウ（できれば10個程度）の自然な地上高（高さ1）、卵ノウが付着している枝を引き下げた状態での高さ（高さ2）を計測

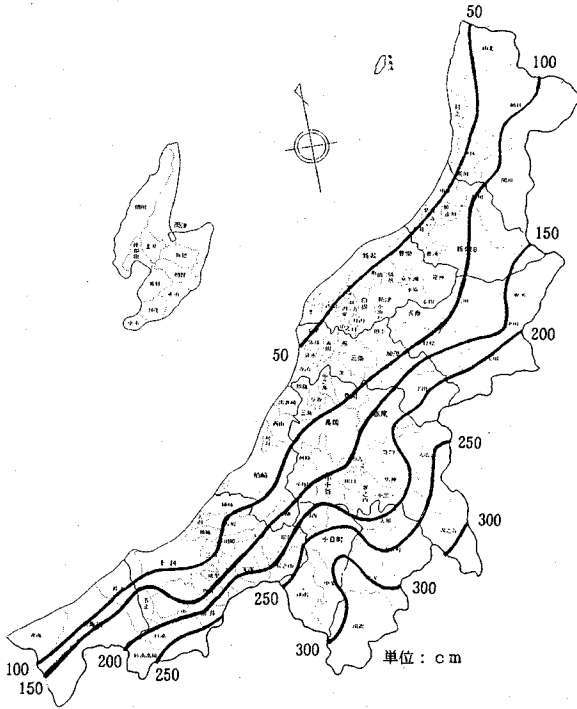


図-8 最大積雪深推定値等深線図(平成6年度)

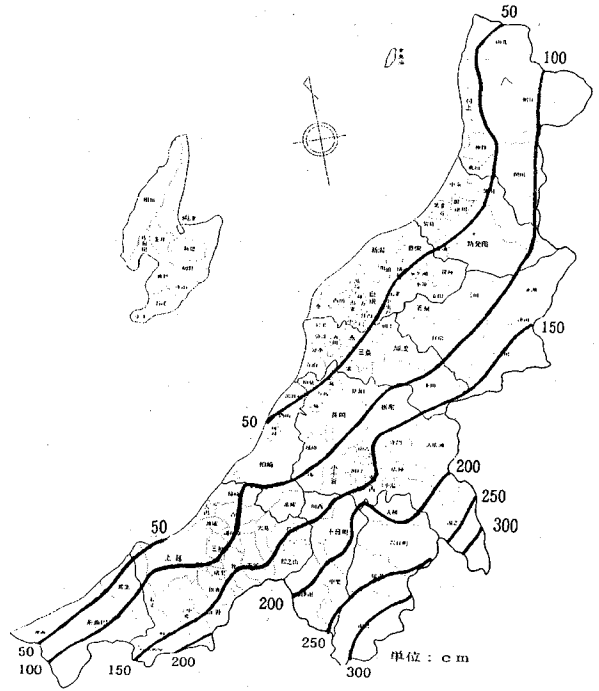


図-9 最大積雪深予測値等深線図(平成6年度)

し、(高さ2)の平均値を計算し、当該地点の代表値とする。併せて緯度、経度、及び標高を地形図から求める。

④ 観測地点の「雪の吹き溜まりと吹きさらし」「樹高」「斜面傾斜角」「斜面の方位角」を各々計測し、補正係数を求める(参考文献4)参照)。

⑤ ④から計算された各補正係数を③の「高さ2」の値に乗じた結果が、その地点の最大積雪深の予測値となる(高さ3)。

⑥ 卵ノウ観測地点以外の予測は、モデル2(重回帰式)を作成することにより推定する(表-3)。ただし、重回帰分析を適用するに当たっては、サンプル数はできるだけ多い方が望ましいが、少なくとも30力所以上は必要である(説明変数の10倍程度)。

⑦ モデル2の予測式に、予測したい地点の緯度、経度、及び標高のデータを代入することにより予測値を計算する。

図-7は、平成6年度(平成7年2月)の最大積雪深観測値の等深線を表わしたものであり、図-8は、モデル1により計算された最大積雪深の推定値から求められた等深線を表わしている。また、図-9は、モデル2より計算された予測値の等深線を図示した結果である。本研究では、図-9をもって新潟県内

の最大積雪深の予測図としている。

## 6. おわりに

雪国においては、生物や植物の観察から各種の気象の予想をする「諺」が数多くあることは前述した通りである。しかしそれらの多くは単に経験学的な結果に基づくものであり、必ずしも十分なデータに裏付けされたものではない。本研究の主題も正にこのような点から出発したものであるが、本研究の特徴は十分なデータと現地観測に基づき検討を行っているところにある。しかしこのような研究を行う程、「カマキリの生物学的な行動メカニズム」を問われることになるが、この点に関しては残念ながら現時点では不明である。

本論文では、実際に著者が新潟県内を中心に行った最大積雪深の予測結果を中心として、観測値との比較を行いながら分析を進めてきた。現地における卵ノウの観測方法や卵ノウ高さの修正方法は、著者の経験による部分が多々あるのも事実ではあるが、できるだけ客観的な方法を採用している。本論文により得られた主な結論は以下の通りである。

(1) 新潟県内の複数の地点における最大積雪深と

卵ノウ高さによる予測値を時系列的に比較・分析した結果、両者の間には明らかに相関があることを示した。またそれは単なる卵ノウ高さではなく、地形や林相による補正が必要であることを示した。

(2) 新潟県内の各地の最大積雪深の値は、地理的条件(緯度、経度、標高)により説明することが可能であり、併せて卵ノウ高さも同様であることを示した。従って、このことより卵ノウ観測地点以外での予測の可能性を示し、また実際に予測を行った。

(3) 統計的検定の結果、年により積雪パターンが異なるため、過去のデータから積雪深を予測することは困難であることを示した。

(4) 卵ノウ高さからその年の最大積雪深を予測した結果、予測の妥当性が十分認められた。

(5) 従って、本研究で提案している方法により得られた予測値は、冬季間の雪対策の参考データとしては十分な利用価値があるものと思われる。

また問題点としては、カマキリを調査対象としているため、その生息地も限定されており、地理的な条件も地域により異なるため、本論文で提案している方法が全ての地域において応用可能であるかについては不明である。

謝辞：本研究を遂行するに当たっては、長岡技術科学大学丸山暉彦教授には多大なるご協力とご指導を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 下村忠一：気象情報の予測技術の開発，発表論文集，建設省土木研究所新潟試験所，pp.132-137,1989.
- 2) 酒井孝：積雪寒冷地域における冬期道路交通確保対策と道路除雪の評価に関する研究，長岡技術科学大学博士学位論文，1993.
- 3) 大後美保：天気予知ことわざ辞典，東京堂出版
- 4) 酒井與喜夫，湯沢昭：カマキリの卵ノウによる最大積雪深予測の可能性，日本雪工学会誌，Vol.10，No.1，pp.2-10,1994.
- 5) 新潟県：新潟県降雪積雪及び気温観測調査報告書，1991-1995.
- 6) 酒井與喜夫：雪を占う，土木学会誌，Vol.78，No.4，pp.44-47,1993.
- 7) 雪工学ハンドブック，森北出版，1988.
- 8) 石原健二：最大積雪深，冬季平均気温の平年値の4k $\times$ mメッシュマップ作成に関する研究，日本積雪連合資料，No.5,1972.
- 9) 中村正一：例解多変量解析入門，日刊工業新聞社.

(1995.9.5受付)

## PRACTICAL FORECAST OF THE MAXIMUM SNOW DEPTH CONSIDERING THE GEOGRAPHICAL CHARACTERISTICS - APPROACH USING THE HEIGHT OF MANTIS'S EGG SACKS -

Yokio SAKAI and Akira YUZAWA

It is indispensable to forecast the snow depth to consider a counterplan of the snow removing. The short and middle time weather forecast less than one week is practical condition, but it doesn't always follow that the long time such as more than one month weather forecast. There are many proverbial relationship between weather and ecology in snow country. The one of these is "the mantis lays eggs at high/low place when we get a heavy/light snowfall".

The purpose of this paper is to forecast the maximum snow depth using the height of mantis's egg sacks considering the geographical characteristics such as the latitude, the longitude and the sea level.