

カメムシによる果樹食害シミュレーションのための モデル構築に関する基礎的研究

元森ひろ子¹・谷川寛樹²・森下正彦³・南方高志⁴・法眼利幸⁵

¹学生会員 和歌山大学大学院 システム工学研究科 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930 番地)

E-mail:s074057@sys.wakayama-u.ac.jp

²正会員 和歌山大学大学院助教授 システム工学研究科 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930 番地)

E-mail:tanikawa@sys.wakayama-u.ac.jp

³和歌山県農林水産部農業生産局エコ農業推進室 (〒640-8585 和歌山市小松原通 1-1)

⁴和歌山県農林水産総合技術センター果樹試験場かき・もも研究所 (〒649-6531 和歌山県紀の川市粉河 3336)

⁵和歌山県農林水産総合技術センター林業試験場 (〒649-2103 和歌山県西牟婁郡上富田町生場 1504-1)

1970 年代以降、カメムシによる果樹の被害が全国で発生するようになり、各地で問題となってきた。果樹カメムシ類の防除は薬剤散布に依存しているのが現状であり、果樹園ではカメムシの飛来予測を行うことが重要な課題である。本研究では、カメムシが果樹園に飛散する様子をシミュレーションするためのモデルを構築する際に必要となる基礎情報の整備を行う。対象地域は、和歌山県でもカメムシによる被害が多い紀ノ川流域とし、被害が最も大きいカキを対象とする。まず、気象データ、花粉飛散数のデータから被害の大きさと発生時期の予測を行った。さらに、カメムシの増殖源となっているスギ・ヒノキ林と果樹園の位置情報を示すマップの作成を行った。

Key Words : *stink bugs, the fruits damage, the Japanese cedar and cypress forest, Satellite Remote Sensing, Geographical Information Systems*

1. はじめに

和歌山県では、カキやモモなどをはじめとした果樹の生産が盛んである。しかし、近年、カメムシによる被害が増加し、多大な被害を被っている。カキだけでも近年の被害として、生産額の 10～15%を占める 10～20 億円の被害を生じている¹⁾。しかし、果樹カメムシ類の防除は薬剤散布に依存しているのが現状であり、果樹園ではカメムシの飛来予測を行うことが重要な課題となっている。

果樹カメムシが果樹園に飛来し、果実を加害する過程は既往研究により明らかとなりつつある。果樹カメムシ類の増殖源は、主にスギ・ヒノキの球果である。カメムシはスギ・ヒノキの球果が不足すると果樹園に飛来し、果実を加害する。スギ・ヒノキの球果量は前年の気象条件により変化する。そのため、スギ・ヒノキの当年球果量が多いと産卵量が増え翌年の果樹カメムシ類の被害が増加する傾向がある²⁾。スギ・ヒノキの球果量と果樹カメムシ類の発生量との間に高い相関があるということは広く認められてきている。しかし、広範囲でスギ・ヒノキの球果着生量を正確に評価することは労力的にも困難である

ため、球果着生量を間接的に示す花粉飛散数を用いたカメムシの発生量予測が行われている。この方法は、県・郡レベルの統計的なカメムシの発生傾向をつかむことに役立っている。

一方、戦後、木材不足から大量に植林されたスギ・ヒノキは、林齢 25～30 年をむかえた 1970 年代以降、着花量が増加し、大量の花粉を飛散させるようになった³⁾。その結果、カメムシの発生が 1970 年代以降増加し、カメムシによる被害が増加した。また、和歌山県は県面積の 77%が森林であり、そのうち約 6 割がスギ・ヒノキを中心とする人工林である⁴⁾。このような背景から、解析する範囲を果樹園だけでなく、カメムシの増殖源となっているスギ・ヒノキが多く存在する人工林にも広げる必要性が出てきた。現在、果樹園では、果樹カメムシ類の発生量や被害時期の予測は防除における重要な課題であり、生産者からは発生予測強化が求められている。

また、衛星データを用いたリモートセンシング技術の進歩により、森林解析分野においては踏破困難な急峻な山林においても植生情報を安価でかつ定期的に観測を行うことが可能となった。

そこで本研究では、花粉飛散量などの統計情報か

ら当年の被害の予測と被害の発生時期を予測し、さらに、面的な食害予測を行うための基礎情報となるスギ・ヒノキ林と果樹園の位置情報を示すマップの構築を行うことを目的とする。つまり、「当年の被害の大きさはどのくらいで、被害が発生する時期がいつ頃か予測し、どの場所の果樹園に果樹カメムシが飛来しやすいか？」というような被害予測に役に立つ情報作りを行う。マップは、果樹カメムシ類の主な増殖源であるスギ・ヒノキ林の植生分布の実態を衛星リモートセンシング技術により明らかにし、GIS（地理情報システム）を用いて、スギ・ヒノキ林から等距離の地点をコンターで表し、果樹園周辺の土地被覆状況から予想されるカメムシの飛来可能性を示すマップを作成する。このマップにより、生産者や管理者は果樹園の位置と果樹カメムシ類の増殖源となるスギ・ヒノキ林の位置を把握することができ、カメムシによる被害予測を立てやすくなると考えられる。また、被害の大きさ、被害発生時期を予測することにより、農薬散布などの防除に役に立つと考えられる。本研究では、スギ・ヒノキ林に囲まれ、果樹カメムシによる被害の多い和歌山県紀ノ川中流域を研究対象地域とする。

2. 研究方法

研究手順を図-1 に示す。まず、果樹カメムシ類とその主要な餌であるヒノキ球果が気象によってどのように変化するかを明らかにする。具体的には、気象変動とヒノキ花粉飛散数、被害果率、被害発生時期の間の相関関係を調べ、果樹カメムシ類が発生しやすい条件を明らかにする。次に、衛星データを用いて、和歌山県紀ノ川中流域におけるスギ・ヒノキ林・果樹園の把握を行い、果樹カメムシによる飛来可能性を示すマップの作成を行う。衛星データは、幾何学的、大気、地形の歪みが含まれており、衛星データ上に表現される地表面の物体の位置は実際の位置とはことなっている。本研究では、画像に GCP（Ground Control Point：地上基準点）から定義した座標変換式に基づき、Polynomial（多次元多項式変換）補正を施すことで、その歪みを大幅に除去し、衛星データを有効に使用できるようにする。さらに、解析対象範囲を切り出し（図-2）、補正を施した衛星データを用いて、果樹園やスギ・ヒノキ林を特定するため、土地被覆分類を行う。ここで、スギ・ヒノキ林から離脱したカメムシによる加害の多くは山林に隣接した果樹園の周縁部で起こる⁵⁾と言われている。つまり、カメムシの飛来度の高さを知るためには、果樹園近隣のスギ・ヒノキ林の位置を正確に把握することが重要である。そのため、衛星データを用いて、スギ・ヒノキ林の位置を特定し、スギ・ヒノキ林からの距離をコンター表示し、果樹園とスギ・ヒノキ林との距離関係を表すマップの作成を行う。

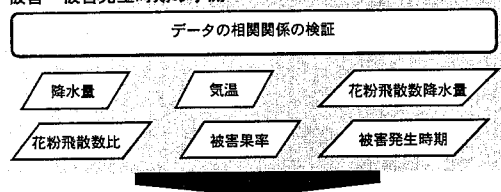
3. 気象、花粉飛散数、被害の関係

(1) 使用データ

a) 気象データ

対象地域の気象データとして、気象庁が測定して

被害・被害発生時期の予測



衛星リモートセンシングを用いた土地被覆分類図の作成

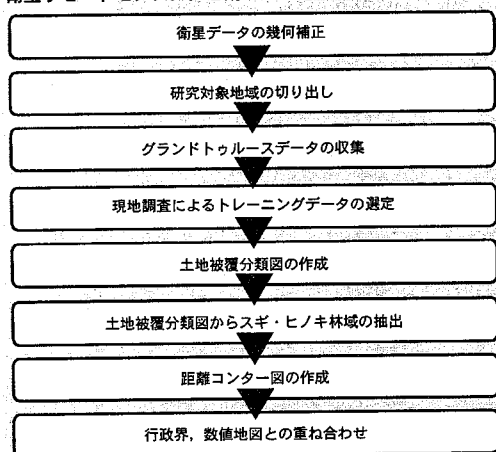


図-1 研究手順

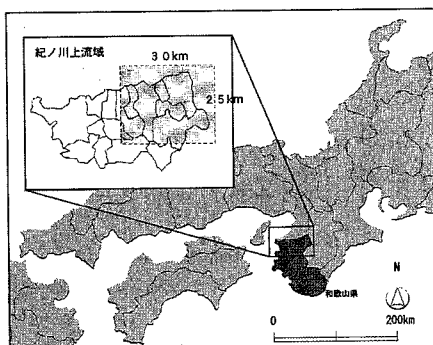


図-2 研究対象地域と切り出しの範囲

	年	夏期平均気温			夏期降水量			花粉飛散数			花粉飛散数比			被害果率			被害発生時期		
		n-1	n	n+1	n-1	n	n+1	n-1	n	n+1	n-1	n	n+1	n-1	n	n+1	n-1	n	n+1
夏期 平均気温	n-1				-0.582	0.232	-0.067	0.107	0.550	-0.495	0.457	-0.480	-0.212	0.554	-0.470	0.377	-0.487	0.144	-0.528
	n				0.195	-0.582	0.232	0.155	0.107	0.550	0.090	0.457	-0.480	-0.324	0.554	-0.470	0.614	-0.487	0.144
	n+1				0.155	0.195	-0.582	-0.317	0.135	0.107	0.117	0.090	0.457	0.495	-0.324	0.554	-0.465	0.614	-0.487
夏期 降水量	n-1							0.220	0.584	0.728	0.096	-0.490	0.548	-0.344	0.378	-0.613	0.323	-0.341	0.745
	n							-0.338	0.220	0.584	-0.103	0.096	-0.490	0.046	-0.344	0.378	-0.093	0.323	-0.341
	n+1							0.149	-0.338	0.220	-0.051	-0.103	0.096	-0.256	0.046	-0.344	0.323	-0.093	0.323
花粉 飛散数	n-1										0.791	-0.313	0.197	-0.444	0.544	-0.406	0.606	-0.837	0.599
	n										-0.264	0.791	-0.313	0.403	-0.444	0.544	-0.340	0.606	-0.837
	n+1										-0.025	-0.264	0.791	-0.395	0.403	-0.444	0.435	-0.340	0.606
花粉飛散 数比	n-1													0.731	0.276	-0.357	0.754	-0.675	0.452
	n													0.920	0.731	0.276	-0.678	0.754	-0.675
	n+1													-0.499	0.920	0.731	0.519	-0.678	0.754
被害果率	n-1																0.794	0.678	0.678
	n																0.665	0.794	0.678
	n+1																0.435	0.665	0.794
被害発生 時期	n-1																		
	n																		
	n+1																		

図-3 各データの相関係数

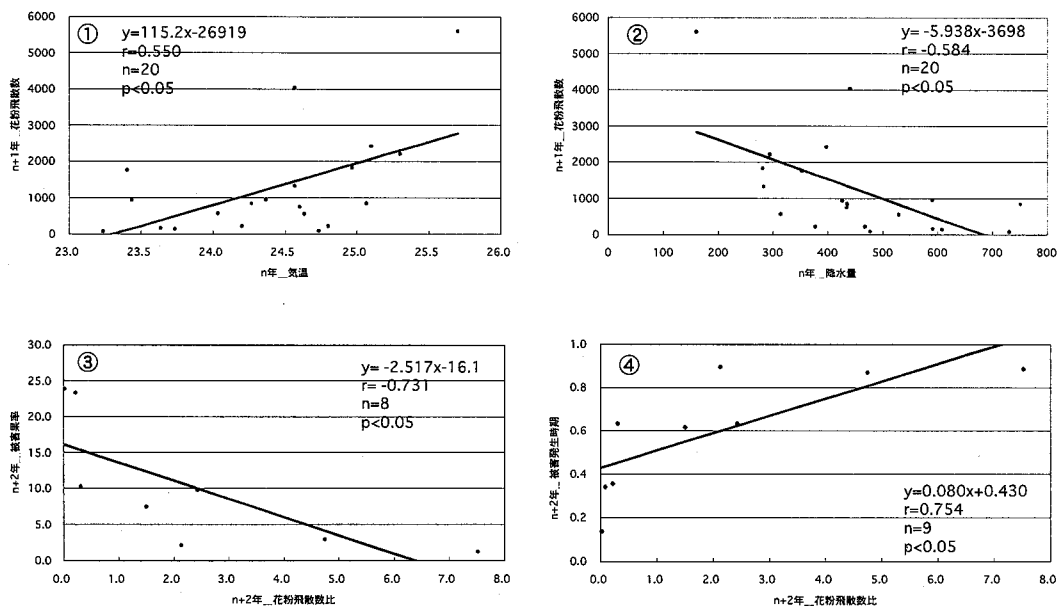


図-4 各データの相関関係の詳細

いるかつらぎのアメダスのデータを用いる。データとしては、花粉飛散数に影響を与えている降水量と気温を用いる。

b) 花粉飛散数

近年、花粉症対策として各地の病院の屋上などで、スギ・ヒノキの花粉飛散数の測定が行われている。今回は、橋本市にある橋本市市民病院で測定されたヒノキの花粉飛散数のデータを用いる。

c) 花粉飛散数比

前年に対して当年の花粉飛散数がどの程度であるかを示すために、当年の花粉飛散数を前年の花粉飛散数で割った。

d) 被害果率

被害果率とは、1 園につき 3 樹を選び、高さ 1.5

～2.0m に着果した 30 果、計 90 果についてカメムシによる被害の有無を調査し、被害のあった果実の個数を比率で表したものである。かき・もも研究所や、伊都地方柿カメムシ防除対策推進協議会などにより、果樹の被害状況を把握するために調査を毎年行っている。今回の対象は、カキの中でも比較的被害の多い、富有という品種に対して被害果率の調査を行ったものを用いた。

e) 被害発生時期

被害発生時期は、カキにおいて被害の発生が始まる 7 月から被害が収束する 10 月までの期間を 1 とし算出を行う。7 月 1 日から被害が確認された日が何日目であるかを求め、7 月から 10 月までの期間(123 日間)で割った。

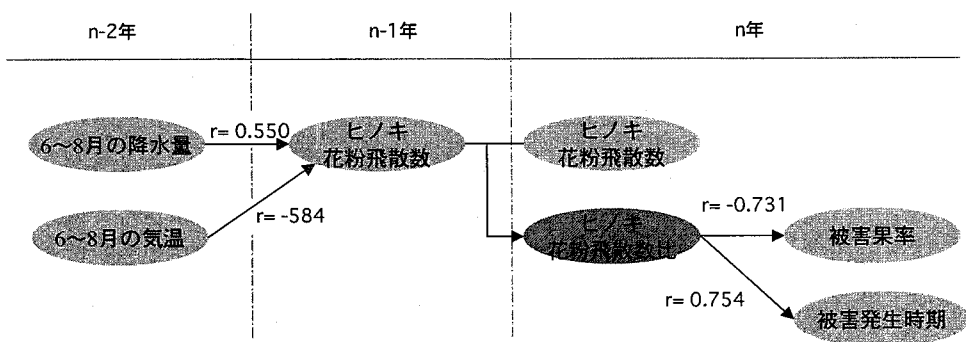


図-5 気象変動と花粉飛散数、被害の関係

(2) 各データの相関関係

各データについてそれぞれ相関分析を行う。この際、花粉飛散数が前年の気象に左右させるところから、その前後の年データについても相関関係を調べる。全ての結果を図-3 に示す。高い相関関係を示した部分について回帰式を求めると以下のような結果となる(図-4)。

①n 年の 6~8 月の気温 (X_1 : $^{\circ}\text{C}$) と n+1 年のヒノキ花粉飛散数 (Y_1 : 個/ cm^2) ($r=0.550$, $p<0.05$, $n=20$)

$$Y_1=1155.2X_1-26919 \quad (1)$$

②n 年の 6~8 月の降水量 (X_2 : mm) と n+1 年のヒノキ花粉飛散数 (Y_2 : 個/ cm^2) ($r=-0.5839$, $p<0.05$, $n=20$)

$$Y_2=-5.938X_2+3698.4 \quad (2)$$

③n+2 年のヒノキ花粉飛散数比 (X_3) と n+2 年の被害果率 (Y_3 : %) ($r=-0.7312$, $p<0.05$, $n=8$)

$$Y_3=-2.517X_3+16.09 \quad (3)$$

④n+2 年のヒノキ花粉飛散数比 (X_4) と n+2 年被害発生時期 (Y_4) ($r=0.7542$, $p<0.05$, $n=9$)

$$Y_4=0.080X_4+0.4292 \quad (4)$$

上記のような相関関係をまとめると図-5 のようになる。6~8 月の気温と降水量から翌年の花粉飛散数を求め、花粉飛散数から花粉飛散数比を求め、被害発生時期、被害果率を推計することができる。

4. 被害予測のためのスギ・ヒノキ林のマップの作成

(1) 土地被覆分類図の作成

a) 衛星データの補正・切り出し

使用した衛星データは、ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection) によって 2002 年 4 月 2 日に撮影されたデータ (雲量 0%) を使用した。Polynomial 補正を行い、解析対象エリアである和歌山県紀ノ川中流域 (橋本市、かつらぎ町、高野口町、九度山町を含む) の 30km~25km の範囲を切り出す。切り出す範囲を図-2 に示す。

b) 土地被覆分類図の作成

土地被覆分類図の作成にはグラントゥールスデータが必要となる。グラントゥールスでは、衛星データが観測されるときと同じとき、あるいは同じと見なせる時点での地上の状態を調査しなければなら

ないといった原則がある⁶⁾。グラントゥールスは現地の代表的な土地被覆状況を詳細にとらえていることから、グラントゥールスデータの選定は慎重に行った。本研究では、解析対象年度 (2002 年) のグラントゥールスデータが入手できなかったが、現地調査や航空写真を用いて、できるだけ精度の高いトレーニングデータを選定した。

次に、土地被覆分類図を作成する。分類項目は市街地、裸地・草地、果樹園、自然林、スギ・ヒノキ林、水域の 6 項目とした。作成した土地被覆分類図を図-6 に示す。

c) 被覆分類の精度検証

まず、統計データとの比較し大まかな傾向を検証するため、土地被覆分類図から図中で面積の最も広いかつらぎ町を切り出し、同町の地勢情報と解析結果との比較を行った。統計データは、衛星データの取得と同じ年 (2002 年) の地目別面積データ⁷⁾を用いた。その結果、水域、市街地、自然林、ヒノキ林、果樹園において割合がほぼ一致した。裸地・草地、スギ林においては 10%未満の誤差であった(図-7)。

さらに詳しく分類精度を検証するため、作成した土地被覆分類図を GIS 上で同時期の航空写真・地図データと重ね合わせ、任意の 210 地点において分類があっているかどうか比較を行った。スギ林、ヒノキ林の検証に関しては、スギとヒノキの樹種別分類は判断がつきにくいいため、まとめてスギ・ヒノキ林として検証を行った。

その結果、表-1 のような分類精度が得られた。誤分類の内訳をみると、果樹園と裸地・草地の分類はお互いに誤分類されやすい混合して分類されている地点が目立った。仮にこれらを耕作地として同一分類項目と判断すると、94.3%と高い適合率であった。また、全体でも 91%の高い分類精度が得られた。

また、航空写真で判断できないスギ・ヒノキ林の樹種別分類を、現地調査により比較検証を行う。土地被覆分類図から検証ポイントを選定し、実際に現地での植生を調査することで比較を行う。その結果、スギ林は 14 地点中 9 地点 (64%)、ヒノキは 16 地点中 9 地点 (56%) の適合率であった。誤分類の内訳は、スギ林はヒノキ林に、ヒノキ林はスギ林として互いに混合して分類されていた。カメムシの発生源はスギ・ヒノキ林であるが、スギとヒノキを比べ

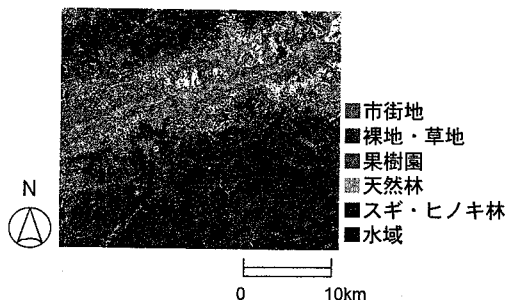


図-6 土地被覆分類図

た場合、ヒノキの方をカメムシは好む傾向がある⁸⁾。スギとヒノキを別に分けて分類を行うことが望ましいが、本研究では、以上のような分類精度であるため、スギ・ヒノキ林を統合し、被覆分類図を用いたカメムシ発生予測のためのスギ・ヒノキ林マップの作成を行う。

(2) 土地被覆分類図を用いたマップの作成

果樹園とスギ・ヒノキ林の距離が近いほど、果樹園にカメムシが飛んで来やすい傾向がある⁵⁾。スギ・ヒノキ林からの距離が近い果樹園ほど、被害を受けやすいと考えられるため、被覆分類図を用いてスギ・ヒノキ林を抽出し、ここから同距離の地点を結んだ距離コンター図を作成する。作成した距離コンター図と地図データを重ねることにより、果樹カメムシの飛来可能性を示すマップ作成する。

まず、GIS のバッファ処理機能を用いて距離コンター図を作成する。バッファとはフィーチャ周囲の指定された距離ゾーンのことで、ここではスギ・ヒノキ林域がフィーチャにあたる。バッファ距離については、和歌山県農林水産総合技術センター果樹試験場かき・もも研究所と協議の結果、カメムシの飛行強度や地図の視認性を考慮すると、0.3km、0.5km、1.0km までの 3 段階が適当とし、スギ・ヒノキ林域の外側に各距離のコンターを作成した。

また、同かき・もも研究所が行った研究（和歌山県、2006）によると、カメムシは手近に適当な量の餌があれば遠くまで移動しないことが分かっている。そのため、スギ・ヒノキ林が密集している地域ほど多く生息していると予想される。逆に面積の小さいスギ・ヒノキ林域にはカメムシの生息数自体が少ないため、被害への影響は少ないと考えられる。そこで、土地被覆分類図（図-6）中のスギ・ヒノキ林のうち、成木 30-40 本ほどの小さな植林地に相当する 4 ピクセル分（900m²）以下のスギ・ヒノキ林域を除いて同様の距離コンター図を作成する。GIS のフィールド演算機能を利用して各ポリゴンの面積を出力し、900m² 以上のポリゴンを指定し、距離コンターマップを作成した。

スギ・ヒノキ林の位置に基づき、果樹カメムシの飛来可能性を示すマップを図-8 に示す。マップの視認性を向上させるために、距離コンター図の下部レ

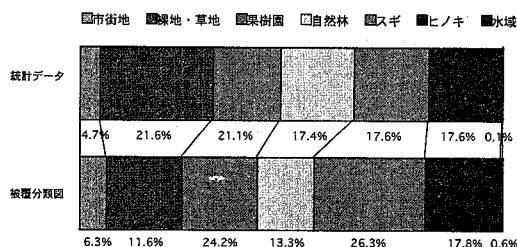


図-7 統計データと面積割合の比較

表-1 任意の点における分類精度の検証結果

分類項目	ポイント数	適合数	誤分類の内訳	適合率 (%)
市街地	20	13	草地 (6) 果樹園 (2)	65.0
裸地・草地	30	16	果樹園 (11) 自然林 (1) スギ・ヒノキ林 (1) 水域 (1)	53.3
果樹園	40	32	草地 (7) 自然林 (1)	80.0
自然林	25	24	果樹園 (1)	96.0
スギ・ヒノキ林	92	92	-	100.0
水域	3	3	-	100.0

イヤーに紀ノ川中流域の行政界データ、土地被覆分類図より抽出したスギ・ヒノキ林域、地図画像を GIS 上で重ね合わせている。このため、小縮尺では行政界データ、大縮尺の拡大図は地図画像や航空写真を重ねて表示することが可能となり視認性を向上させた（図-8）。詳細図は、① かつらぎ町・高野口町・九度山町、② 橋本市を表している。

5. まとめと今後の課題

本研究では、気象データや花粉飛散数データから被害の規模と被害発生時期の予測を行った。また、衛星データと現地調査により土地被覆分類を行い、スギ・ヒノキ林の分布状況を明らかにした土地被覆分類図を作成し、土地被覆分類図からスギ・ヒノキ林を抽出し、ここから同距離の地点を結んだ距離コンター図を作成し、カメムシが果樹園に飛来する可能性を示すマップを作成することができた。これにより、カメムシによる果樹食害被害軽減に向けた基盤情報を整備し、地理的条件による被害の発生可能性を図化することができた。

今後の課題として以下のことが挙げられる。

- 1) 本研究では、データとして被害果率を用いたが、被害果率は農薬の散布状況などにより大きく値が変動する。そのため、正確な被害の予測ができていないと考えられる。今後は、カメムシの発生量などを考慮した被害の予測を行う必要があると考えられる。
- 2) 被害園とスギ・ヒノキ林の距離の関係性を分析したが、果実が被害を受ける要因として、果実の品種や農薬の有無、地形的要因、風向、スギ・ヒノキ林の生育状態といった種々の要因が挙げられる。今後はこのような要因を調査し分析を行う必要がある。
- 3) スギ・ヒノキ林を抽出する際、ASTER/VNIR デー

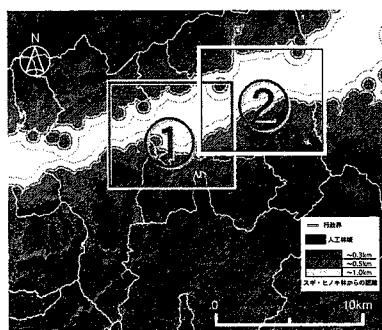
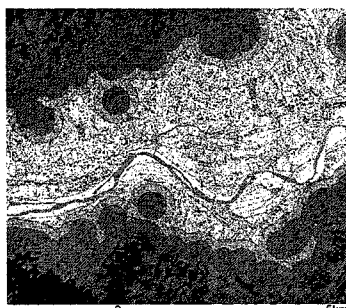
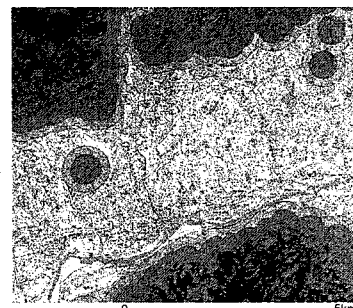


図-8 900m²以下のスギ・ヒノキ林を除いた距離コンター図



① かつらぎ町ー高野口町ー九度山町



② 橋本市

タの画像分解能は 15m であるため、トレーニングデータには 15m×15m 以上の林分がなければ分類では使用できない。そのためグランドトゥールースデータの収集の際は、均一で広い林分が必要である。本研究では道路沿いからスギ、ヒノキ林のグランドトゥールースを行ったが、道路沿いは特にスギ、ヒノキが混生している地域が目立ったため、広大に同じ植生を有するトレーニングデータを集めることは困難であった。そのため、林班図等から、同一で広い植生の地域を選定し、グランドトゥールースによって確認することで、トレーニングエリアを選定する必要がある。

4) 作成した土地被覆分類図の中で、裸地・草地と果樹園が互いに混合して分類されている地点が目立った。これは、衛星データが撮影された4月時点での田畑や果樹園の植生状況が似ていることから、誤分類が生じたと考えられる。今後は対象となる分類の時期による植生の違いを考慮して、季節の差を被覆分類に活かせるよう複数年の衛星データを利用する必要がある。

5) スギ・ヒノキ林と果樹園の位置から果樹カメムシの飛散可能性を表したが、今後は風向や気象状況など土地被覆以外の要因も考慮し、より実用性のある被害マップを作成する必要がある。また農薬の散布時期や範囲等も明確に把握することで、カメムシ類の動態を明らかにし、より効率的な被害軽減の方法を確立する必要がある。

謝辞：本研究は、和歌山県戦略的研究開発プラン課題の「果樹カメムシ類の発生量予測技術および防除技術の開発」の成果の一部をまとめたものであり、和歌山県農林水産総合技術センター果樹試験場かき・もも研究所、和歌山県農林水産総合技術センター林業試験場の協力によって作成された。本研究で用いたデータの所有は、米国政府、衛星データの提供は、SpaceImaging/宇宙開発事業団によるものである。また、花粉飛散数のデータは、榎本雅夫（日本赤十字社和歌山医療センター）ら、カキ果実の被害調査は、伊都地方柿カメムシ防除対策推進協議会に協力をいただいた。関係各位に深く感謝する。

参考文献

- 1) 和歌山県農林水産総合技術センター果樹試験場かき・もも研究所：果樹カメムシ類の発生量予測技術および防除技術の開発 成果報告書，pp. 2, 2006
- 2) 梅谷敏二：果樹におけるカメムシ類の多発被害(続報)。植物防疫30(4)，pp. 133-141, 1976
- 3) 和歌山県農林水産総合技術センター果樹試験場かき・もも研究所：果樹カメムシ類の発生量予測技術および防除技術の開発 成果報告書，pp. 13-15, 2006
- 4) 和歌山県農林水産部緑の雇用推進局林業振興課：森林・林業および山村の概況，pp. 10, 2003
- 5) 堤隆文：果樹カメムシおもしろい生態とかしい防ぎ方，農山漁村文化協会，pp. 96, 2003
- 6) 大林成行：実務者のためのリモートセンシング，フジ・テクノシステム，pp. 135, 1995
- 7) 和歌山県企画部統計課：平成14年和歌山県統計年鑑，和歌山県企画部統計課 和歌山県統計協会，pp. 4-5, 2002
- 8) 堤隆文：果樹カメムシおもしろい生態とかしい防ぎ方，農山漁村文化協会，pp. 53, 2003

BASIC STUDY ON CONSTRUCTING MODEL FOR DAMAGE SIMULATION THE FRUITS STINK

Hiroko MOTOMORI, Hiroki TANIKAWA, Masahiko MORISHITA,
Takashi MINAKATA and Toshiyuki HOUGEN

After 1970's, the fruits damage by stink bugs on orchard came to occur nationwide and has come to problem in each place. Prevention of the fruits damage depends on agricultural chemicals today. As period that agricultural chemicals was scattered is important, the prediction of period that the stink bugs flies to orchards is the important subject. In this study, basic information is arranged for constructing model that simulate situation that stink bugs flies to orchards. First of all, size and period of damage are predicted from meteorological data etc. In addition, the map is established and shows the location of orchards and the Japanese cedar and cypress forest that is the proliferation source of the stink bugs. In this paper, as there is much damage by the stink bugs, the basin of Kinokawa River and kaki as case study was selected.