

# GIS を用いた森林衰退要因の広域的解析と 時空間的予測への展開

## Large-scale analysis on causes of forest decline and its application to a spatiotemporal prospect using GIS

研究代表者 竹中千里 教授 名古屋大学大学院生命農学研究科

Chisato TAKENAKA, Professor, Graduate School of Bioagricultural Sciences,  
Nagoya University

**アブストラクト**：環境化学的分析と地理情報システム（GIS）及びリモートセンシングの手法を用い、樹木枯死や森林衰退の原因を、地形・気象・環境（水・土・大気）などの要因や被害の発生・伝播等の状態から総合的かつ広域的に分析し、その原因とメカニズムを明らかにした。

**Abstract**: Using the technique of environmental chemical analysis, a geographic information system (GIS), and remote sensing, the cause and mechanism of trees death and forest decline were clarified by synthetically and spatially analyzing the various factors such as geographical feature, weather, and environment (water, soil, and atmosphere) and the state of occurrence and propagation of damages.

### 1．研究目的

異常な樹木枯死や森林衰退の原因を特定することは、それが複合要因による場合が多いため、非常に困難である。本研究では、地理情報システム（GIS）やリモートセンシングの手法を用いて、森林衰退の原因を、地形・気象・環境（水・土・大気）などの要因や病虫害の発生・伝播の状態から総合的かつ広域的に検討することにより、観測されている樹木枯死や森林衰退の原因だけでなく、そのプロセスとメカニズムについても明らかにすることを目的とする。

### 2．研究経過

従来の樹木枯死の原因調査では、被害が発生した場（点）における病虫害の発生や気象データ、大気汚染や酸性霧などの発生状況などを調べることにより行われてきた。そのため、被害をもたらした最終的な因子の特定のみが注目され、それに至るまでのプロセスやメカニズムについては、ほとんど明らかにされてこなかった。そのため、将来樹木枯死や森林衰退の可能性のある地域を特定するという被害予測に関しては、十分な知見が得られていない。本研究では、地理情報システム（GIS）及びリモートセンシングの手法を用い、樹木枯死の発生や森林衰退を地域（面）で捉え、他の様々な要因と面的に重ね合わせるにより、樹木枯死の原因

となる要因を抽出するとともに、現地調査による水・土壌環境の化学的分析で樹木生理に直接関わる環境要因を要因分析に加えることにより、樹木の衰退・枯死のプロセス及びメカニズムを、地形・気象・環境（水・土・大気）などの要因や病虫害の発生・伝播の状態から総合的かつ広域的に究明することが必要となる。

加えて、現在慢性的なストレス環境下にあり、将来衰退の可能性のある地域を特定するという被害予測を行うことにより、再生可能な自然資源である森林を広域的に管理していく上で、有効な手法と知見を得ることが重要であると考えられる。

これらの課題を解決するため、次の2課題を設定した。

- 1) 神奈川県丹沢山地における森林衰退の要因解析
- 2) 愛知県におけるマツ枯れ被害の発生に関わる環境因子の推定

### 3．研究成果

#### 3.1 神奈川県丹沢山地における森林衰退の要因解析

神奈川県丹沢山地では、これまでモミ林や、ブナを初めとする広葉樹林で樹木の枯損が報告されているが、その要因として関東沿岸部を排出起点とした大気汚染物質による環境スト

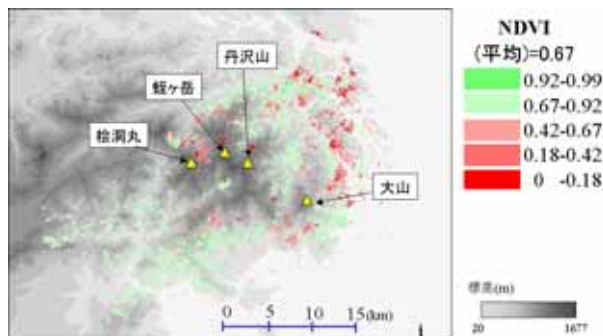


図 - 1 . 丹沢山地のスギ林における樹木活性の地域的傾向

レスの影響が報告されている。しかしながら森林衰退の要因としては、大気汚染以外にも気象、病虫害、土壌の劣化などが考えられる。森林衰退要因の解析においては、それに関わる因子は様々であり、またその多くは広域性を持つため、現地における樹木の生育状況の把握だけでなく、その生育に影響を及ぼすと考えられる様々な環境因子を多面的に分析する必要がある。

以上のことから本研究では、丹沢山地周辺に広く分布し大気汚染にも比較的弱いとされているスギ林を対象とし、リモートセンシング画像や現地でのサンプリング調査により得られる樹木の活性状況、及び森林衰退に関わる環境因子の状況について、地理情報システム(GIS)を用いて広域的かつ多面的に検討することにより、丹沢山地周辺における森林衰退の要因を解析することを目的とした。

まず、植物の活性度を示す代表的な指標である TERRA 衛星の MODIS センサーから得られた正規化植生指標 (NDVI) データを用い、丹沢山地のスギ林における樹木活性の地域的な傾向性を調べた。その結果、NDVI の高い値を示す林地と低い値を示す林地の空間分布に、地域的な特徴が認められた (図 - 1)。全体的な傾向性としては、丹沢南部から東部及び北東部にかけての林地では、丹沢北部から西部にかけての林地よりも低い NDVI 値を示した。また丹沢北部や北東部、西部地域においては、谷地形にある林地において、他の林地よりも低い NDVI 値を示す特徴が確認された。このことから、樹木の活性に地域的な差をもたらす要因として地形に関わる環境因子の影響の可能性が示唆された。

さらに、実際の樹木の生育状況を把握するため、広域的に現地サンプリング調査を行い、スギ樹木葉内のクロロフィルと元素の含有量、及び森林の土壌化学特性について分析を行った。その結果、葉内のクロロフィル含有量及び Ca 含有量が、丹沢の大山地域及び南部の海側斜面

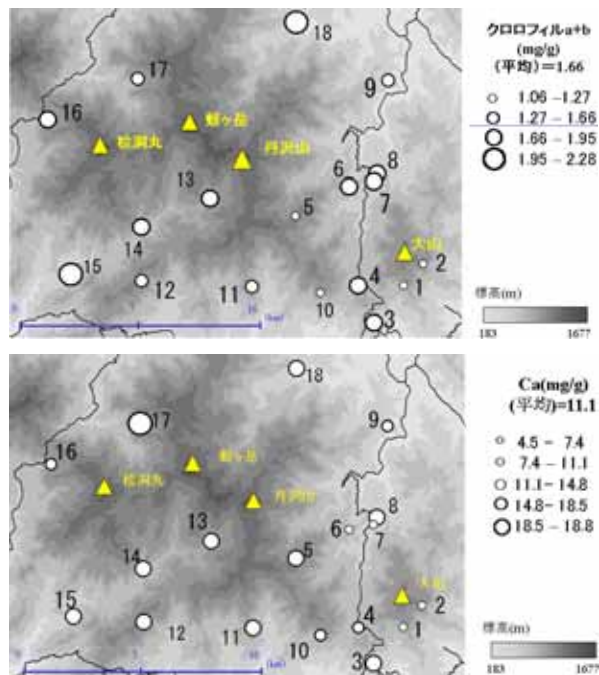


図 - 2 . スギ樹木葉内のクロロフィル含有量 (上) 及び Ca 含有量 (下)

の地域が他の地域と比較して低いことが示唆された。これに対し、土壌分析の結果では地域的な差異は見られなかったことから、樹木活性の地域的な差異をもたらす要因としては、土壌以外の環境因子が考えられた。

これらの結果をもとに、樹木活性と環境因子の関係を明らかにするため、広域的に得られている既存の様々な環境因子のデータについて、GISを用いて地形図と統合することにより、各環境因子の空間的な分布パターンについて検討した。まず、土壌タイプの地域的な傾向性を調べ、土壌分析の結果と比較した結果、丹沢山地周辺の土壌タイプ及び気象因子に関しては特徴的な分布パターンは認められず、樹木活性の地域差に影響を与えていないと考えられた。次いで気温、降水量、日照時間の年間値、4～9月までのNO<sub>x</sub>濃度時間値の積算、O<sub>x</sub>濃度時間値から算出したAOT40 について、地域的な差異を検討した結果、丹沢南部地域では高いNO<sub>x</sub>濃度レベルにあり、また北東部では樹木活性に影響を及ぼすと考えられるほどの高いO<sub>x</sub>濃度のレベルにあることが明らかとなった (図 - 3)。さらに、高濃度O<sub>x</sub>発生時における代表的な風向・風速分布については、大気が相模湾上から丹沢山地南部に輸送され、その後丹沢東部から北部地域へと送り込まれている可能性が示唆された (図 - 4)。

以上の結果から、その原因となる因子は異なるが、丹沢山地南部の相模湾に面している地域

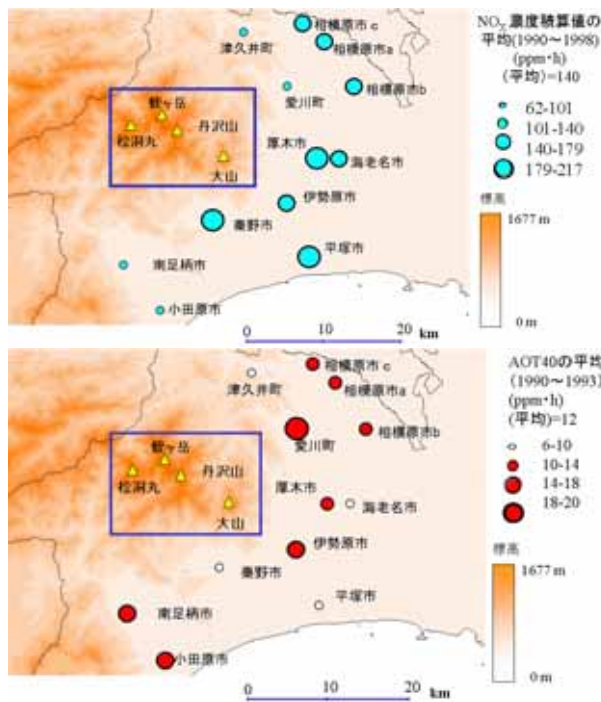


図 - 3 . 丹沢山地周辺におけるNO<sub>x</sub>濃度（上）及びAOT40（下）分布

及び関東平野に面している丹沢山地東部から北東部地域と丹沢内部の地域の間で、スギの活性に地域的な差が生じている可能性が示唆された。南部地域ではNO<sub>x</sub>を主とする酸性霧や酸性降水物の影響が、また丹沢山地東部から北東部地域ではO<sub>x</sub>の影響が樹木活性の低下をもたらしている可能性が考えられた。現在スギ林の被害は顕在化していないものの、これらの地域は大気環境による潜在的なストレス下にあり、今後気象要因などの更なるストレスによって枯損被害が起こる危険性が考えられた。

### 3.2 愛知県におけるマツ枯れ被害の発生に

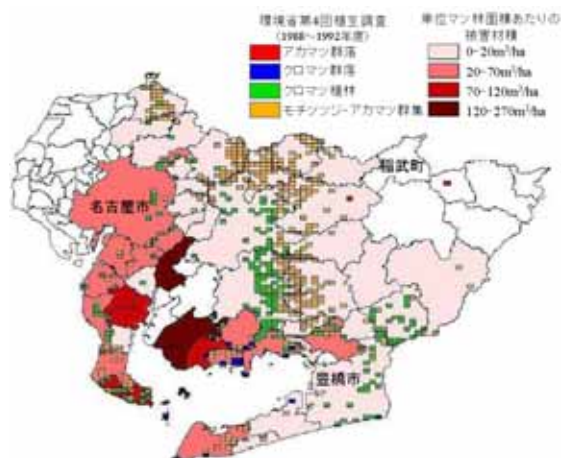


図 - 5 . 愛知県におけるマツ林及び松枯れ被害分布

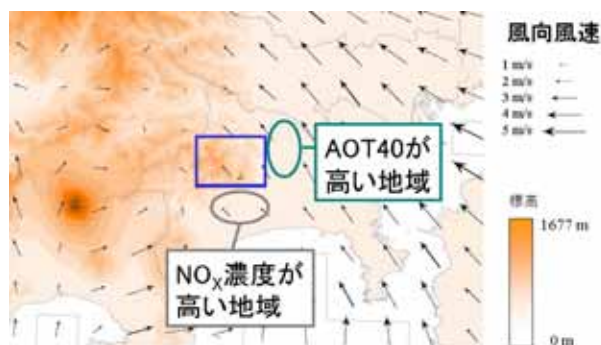


図 - 4 . 丹沢山地周辺における高濃度 OX 発生時の代表的な風向・風速分布

#### 関わる環境因子の推定

マツ枯れ（マツ材線虫病）は、病原体であるマツノザイセンチュウ（*Bursaphelenchus xylophilus*）をマツノマダラカミキリ（*Monochamus alternatus*）等の甲虫類が伝播する伝染病の1種であることが多くの研究により明らかにされた。この二者が巧妙なメカニズムで繁栄を続けてきたとは言え、それらの個体数変動や生態の研究のみではマツ枯れは解決しない。個体数変動のみならずマツの衰弱度にも影響を及ぼしている環境因子の重要性を見逃すことはできない。

そこで、本研究では、1970年代後半から2000年までの愛知県全域における、マツ枯れ被害材積量（図 - 5）と気象や大気汚染といった環境因子との状況の推移を時空間的に解析することによって、マツ枯れ被害の発生に関わる環境因子を推定した上で、愛知県におけるマツ枯れ被害の今後の傾向について示唆を与えることを目的とした。

まず、過去に著しい被害が起こった市町村には潜在的な被害発生の可能性があると考え、その可能性を規定している環境因子を抽出するため、MB指数、降水量、気温、標高と被害量

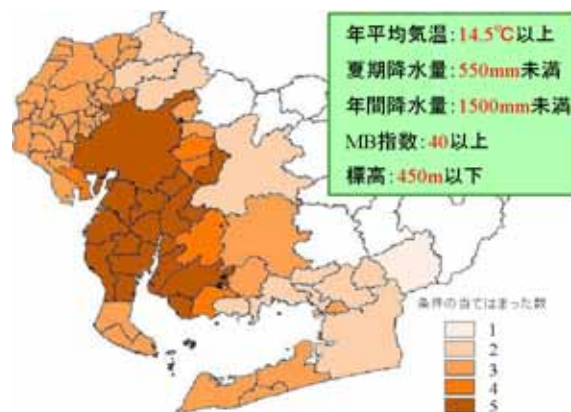


図 - 6 . 愛知県におけるマツ枯れ被害の潜在的な可能性





図 - 7 . 愛知県における松枯れ被害の伝播傾向及び被害ブロック

とを地理的に比較し、それら各因子の被害発生可能性に関する影響を検討した。その結果、愛知県におけるマツ枯れの潜在的激害発生地域の条件としては、標高 450 m 以下、年平均気温 14.5 以上、年降水量 1500 mm 未満、夏季降水量 550 mm 未満、MB 指数 35 以上が考えられた。これらが当てはまる地域は、現在マツ枯れ被害が発生していなくても、潜在的に発生する可能性があるため、今後十分な予防対策が必要であると考えられた (図 - 6)。

さらに、愛知県におけるマツ枯れ被害の伝播傾向を検討するために、隣接市町村間の被害材積の推移について相関分析を行った結果、相関が見られなかった隣接市町村間の境界を結ぶと、愛知県には 3 つの異なるブロックが存在することが認められた (図 - 7)。これはブロック間の境界域に被害の伝播を分断する要因があるということであり、3 つのブロックごとに取られるべき対策が異なってくることを示唆された。

#### 4. 今後の課題と発展

今回は、神奈川県と愛知県における森林衰退及びマツ枯れ被害を対象として研究を実施したが、共通した課題としては森林域、特に山岳地域における環境因子の観測データの不足が挙げられる。これらの観測体制に関しては、急速な発展は望めないため、既存データ (特に、データの揃っている都市域) からの高度なシミュレーション技術が必要となるであろう。それらを組み合わせることにより、森林衰退や樹木枯損のより詳細な原因究明と被害予測が可能となるものと考えられる。なお、本研究を遂行するにあたり、神奈川県自然環境保全センター及び愛知県農林水産部森林保全課にはデータ収集・観測等において多大な協力を得た。記し

て謝意を表する。

#### 5 . 発表論文リスト

- 武田和明・山本一清・竹中千里・箕浦宏明・福山 薫: GIS を用いた愛知県三河地方における樹木枯損原因の推定, 環境科学会誌, 15 巻, pp. 127-136, 2002
- 高見 智香・吉田 耕治・竹中 千里・手塚 修文: 神奈川大山に生育するモミの生理状態 第 113 回日本林学会大会学術講演集, p 461, 2002
- 松井健吾・高見智香・山本一清・竹中千里: 大山地域のスギ人工林における環境因子の広域的評価 第 114 回日本林学会大会学術講演集, p 647, 2003
- 山本一清・高橋與明・宮地洋輔・都竹正志・千田良道・宮坂 聡: Hyper Mapper を利用した都市緑地の樹木個体抽出, 第 115 回日本林学会大会学術講演集, p 589, 2004
- Yamamoto, K., K.Matsui, C.Takami, K.Yoshida and C.Takenaka: Analysis of forest decline causes in Oyama area using remote sensing and GIS, 6th APGC Symposium, October 19-22, p297, 2004
- Yoshida, K., R.Shibasaki, C.Takami, C.Takenaka, K.Yamamoto and T.Tezuka: Response of gas exchange rates in *Abies firma* seedlings to various stresses under chronic acid fog stress. *Journal of Forest Research*. Vol. 9, pp. 195-203, 2004
- Yoshida, K., S.Inaba, C.Takenaka and T.Tezuka: Effects of chronic acid fog exposure with soil acidification or nitrogen loading on nutrient status in *Abies firma* seedlings. *Journal of Forest Research*. Vol. 10, pp.157-161, 2005