

都市域における環境悪化の指標としての 樹木衰退と微生物相の変動

山 家 義 人⁽¹⁾

Yoshito YAMBE : Declining of Trees and Microbial Florae
as the Index of Pollution in Some Urban Areas

要 旨 : 都市化に伴う環境悪化の程度を、衰退度合を5段階に区分したスギとケヤキを指標として1972年から1976年にわたって調査した。調査対象は東京を中心とする100 km 圏内の関東地方と、千葉県の一部、福井県および京都市とした。いずれの地域でも市街地や工業地域を中心に樹木の衰退が認められる。衰退状況は地形や海拔高に強く影響され、低地に沿って広がり、山地で遮られるといった等高線状の変化となって現われた。同時にこの樹木の衰退を目安とした微生物相の変化についても、調査法および調査対象について検討を行い、広域に点在する芝生地土壌とササ葉面上の微生物のうち細菌と糸状菌について調査した。土壌微生物は周囲の植生や人為的な攪乱などによっても変化しやすく、わずかな距離でも結果がことなり、明瞭な結果が得られなかった。細菌と糸状菌では生活形態も異なり、分離法や培地についての検討も必要と思われたが、ササ葉面上の細菌数にはスギの衰退程度と対応すると考えられる変化が認められ、スギの衰退は環境の悪化が樹木だけでなく、スギ以外の生物にも与える影響をかなりの程度反映しているものと考えられる。樹木の衰退現象は、東京都内では一時ほどの激しさは認められなくなったが、大気汚染物質の一部である窒素酸化物や炭化水素などの量は横ばい状態にあり、夏期に起こるケヤキの異常落葉は、周辺地域では現在も広がりつつある。

ま え が き

1960年代の高度経済成長時代に促進された人口の都市集中と自動車の急激な増加、工業の大規模化などによって、都市と工業地域を中心として、大気汚染をはじめさまざまな環境の悪化がもたらされた。地上に定着して生育する植物は長年の間これらの影響を直接、間接に受け、被害の蓄積によって過去には見られなかった各種の症状を現わすようになった。

筆者は先に東京都におけるこのような樹木の衰退の実態を調査して報告したが⁶⁾、引き続き関東地方で東京を中心とする100 km 圏内の調査を行い、あわせて規模や性格の異なる都市、および汚染源の限定された地域においても同様の調査を行った。市街地から農林業を主とする広範な地域における、都市化ないしは市街化に伴う環境悪化の指標として、樹木衰退の実態をとらえることとした。また、樹木の生育に影響を与える環境の悪化は当然他の生物にも影響を与えるものと考え、調査地域での微生物相の調査法と、調査する対象の検討を行ったので、あわせて報告する。

この調査は1972年から行われた環境庁の別枠研究「農林水産生態系における汚染物質の循環と指標生物に関する研究」のうち「農林水産環境における指標生物の耐性限界とその利用」⁴⁾の一部として行われたものであり、東京を中心とした調査結果の一部は日本林学会第85回大会⁷⁾に、千葉県での調査結果の一部は森林立地⁵⁾に報告した。

本報のとりまとめにあたり、ご指導とご助言をいただいた当初の PL、中野 実前企画科長、PL、土井 恭次企画科長、指標生物班の各位および便宜をはかられた塘 隆男前土じょう部長、河田 弘土じょう部長にお礼申しあげるとともに、調査ととりまとめに多くのご協力とご助言をいただいた小川 真土じょう微生物研究室長に感謝する。

調 査 方 法

1965 年から行われた都内での樹木の実態調査結果をもとに、樹形や着葉量、枝の枯死の状態などからスギとケヤキについて、Fig. 1 のように衰退の程度を 5 段階に区分した。調査の対象木は主として屋敷林や社寺林等の平地林からえらび、造林地のものは補助的に調査した。各地で樹林を踏査し、樹木の状態を Fig. 1 の段階区分にあてはめ、その評点を地図上の調査地点に記入し、後に補正、整理して衰退地図を作成した。

東京都を中心とする関東地域ではケヤキとスギを指標植物として用いた。ケヤキは先に報告⁵⁾したように個体差は大きい、都内にも数多く植栽されており、衰退の程度の差に大気汚染との関連が認められた。スギは東京 23 区内にはほとんど生育していないが、それ以外の地域には、調査した地域のほとんど全域にケヤキとともに分布しており、衰退の程度が規則的に変化した。

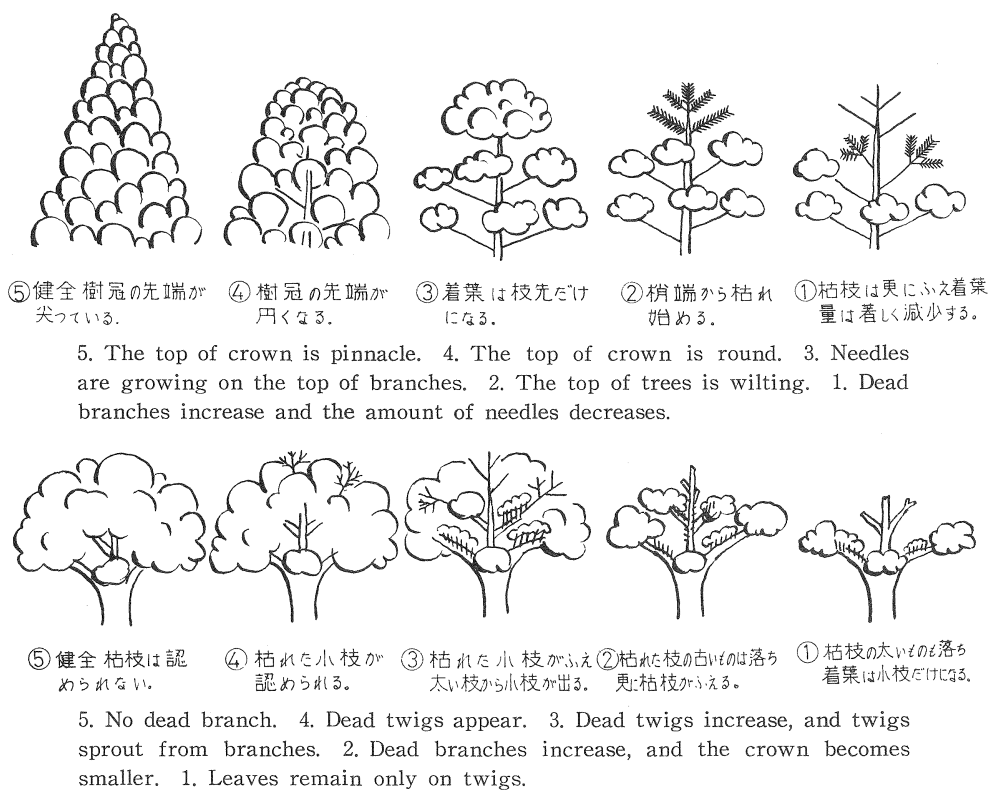


Fig. 1 スギとケヤキの衰退の程度を示す模式図
Grades of declining of *Cryptomeria japonica* and *Zelkova serrata*.

1. 不良～5. 健全 1. wilting～5. healthy.

関東地方以外ではケヤキはスギに比べてやや少なく、分布が偏っている場合があるので、とりまとめの都合上調査の途中からは主としてスギを対象として調査し、スギのない場合にはケヤキで代用した。実際にはスギはケヤキに比較して一段階弱く、ケヤキの評点2はスギの1に相当するので、ケヤキで判定した場合には一段階さげてスギに評価しなおし、各地の調査結果はスギを基準として図を作成した。

関東地方の東京を中心とした地域で調査を開始した1972年には、東京都内および周辺の地域では夏にケヤキの異常落葉が起こり、夏以後は台風の襲来などもあって、地上からの観察では枯枝と落葉した生きた枝との区別がし難くなった。そのために以前行った東京都内での調査と同様に、新葉が展開し終わり、異常落葉の始まる前の6月上中旬に集中して調査を行った。後半に行った他の地域での調査は、主な対象をスギにしたため、比較的天候の安定する秋から冬にかけて天候を見定めて実施した。

1972年には関東地方の東京を中心とした100 km圏内で観察を行い、方法とこれを適用しうる限界について検討を進めた。1973年には東京から放射状に伸びる主要な幹線道路に沿って概略を調査し、1974年には前年と同じ道路および間道までを含めて詳細に調査し、両年の結果を合わせて図を作成した。

1975年には規模が小さく、汚染源の限定された地域として、千葉県木更津市および君津市周辺を選んで調査した。また同年には平野部でのスギの枯損が問題となっており、比較的広い範囲で種々の環境を含む、福井市と大野市を中心とする地域で調査し、1976年には盆地で特定の大規模な工業を持たず、社寺の多い京都市で調査を実施した。

各地でこれらの樹木の衰退を調査するとともに、それぞれの衰退程度に応じた地点で試料を採取し、調査法と対象微生物の検討を含めて微生物相の調査を行った。このような調査を現在までにわが国で行った例はない。

関東地方では図に示すように4方向22か所で、ゴルフ場や公園の芝生表層土を1か所でランダムに20点採取し、混合して微生物分離用試料とした。採取地は郊外ではゴルフ場、都内では主として公園であった。土壌中の糸状菌分離用にはペプトン・ブドウ糖・ローズベンガル培地（寒天 20.0 g, KH_2PO_4 1.0 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g, Peptone 5.0 g, ブドウ糖 10.0 g, 蒸留水 1.0 l, ローズベンガル 1/30,000, pH 4.5）を、細菌・放線菌用には土壌煎汁培地（寒天 15.0 g, K_2HPO_4 0.4 g, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 0.5 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.05 g, MgCl_2 0.1 g, FeCl_3 0.01 g, CaCl_2 0.1 g, ペプトン 1.0 g, イーストエキス 1.0 g, ブドウ糖 1.0 g, 土壌煎汁 250 ml, 水道水 750 ml, pH 7.5）をおのおの用いて、糸状菌は $\times 10^3$ 、細菌・放線菌は $\times 10^6$ で希釈平板法によって分離を行い、25°C で7日間培養して菌数を測定した。

また関東地方の一部と千葉県では比較的広範囲に分布するシイノキ、ケヤキ、アカマツなどの葉面から、また関東地方では分布域が広く、草丈もほぼ一様なアズマネザサの葉面から、福井県ではネマガリダケからそれぞれ微生物を分離した。採取した葉 3 g を 300 ml の殺菌水で、超音波洗浄器（ブランソン、出力 50 W, 45 kHz）によって5分間洗浄し、その洗浄液を $\times 10^4$ に希釈して、上記の土壌の場合と同じ培地を用い、25°C で7日間培養し菌数を測定した。

調 査 結 果

1. 樹木の衰退

関東地方の東京を中心とする100 km圏内の調査結果は Fig. 2 に示す通りである。図の衰退段階を示した数字は、衰退段階の境界線であり、図の網目で囲った部分を含む評点1の範囲は評価できるスギがな

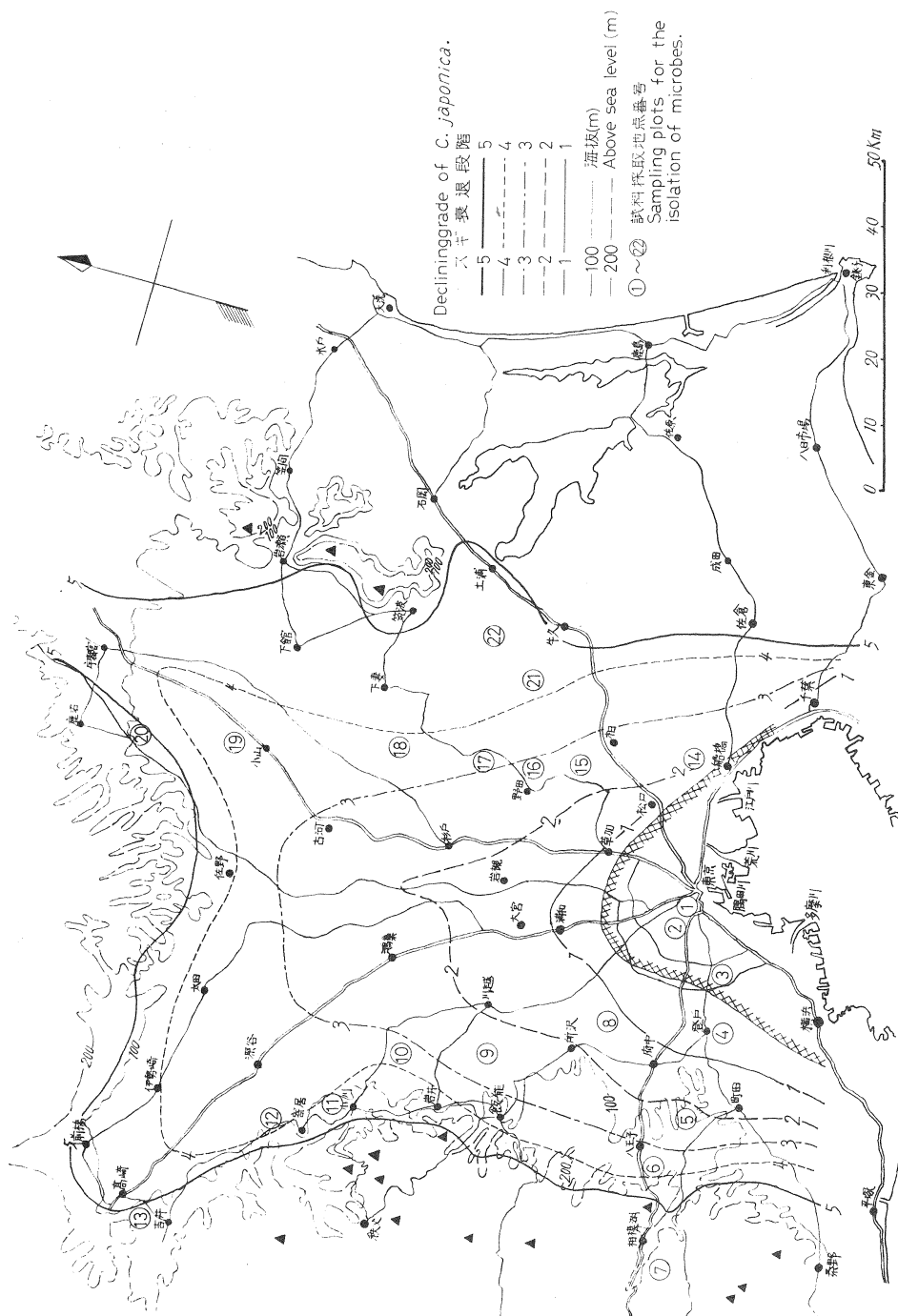


Fig. 2 東京を中心とするスギの衰退地図 (1974)
Declining of *C. japonica* in Tokyo city and its surrounding districts. (1974)

く、いわば0に相当する。1の線と2の線の間が評点1に当たり、5の線の外側が評点5になる（以下 Fig. 3, 4, 5, 6 も同じ）。

前の報告⁶⁾で調査した地域の大部分は、図の網目で囲った部分に含まれ、過密な市街地であるとともに京浜、京葉工業地帯を含む巨大な汚染源ともいえる地域であり、スギの健全な成木は全くない。図には調査した主な道路を記入したが、いずれの方向でも都心から30 km 以内では道路沿いに建物が連続しており林地は少ない。屋敷等の周辺に残されたスギも樹勢の衰えが目立ち、ほぼ評点1の範囲に入る。30 km を過ぎると、それぞれの方向によって衰退の程度に差が現われる。平塚方向は開発途上の地域が含まれ、海岸に近いスギは少ないが、衰退は著しく、高速道路沿いなどに残されたものも立ち枯れたままのものが多く、相模湖方向は丘陵地などに点々とスギはあるが、八王子までは衰退が著しく、枯死したものが多く、評点3の範囲に入る。八王子以遠では衰退の程度は軽減されるが、健全なものが見られるようになるのは、相模湖付近で都心から約50 km 離れた地域である。高崎および宇都宮方向は類似した傾向を示

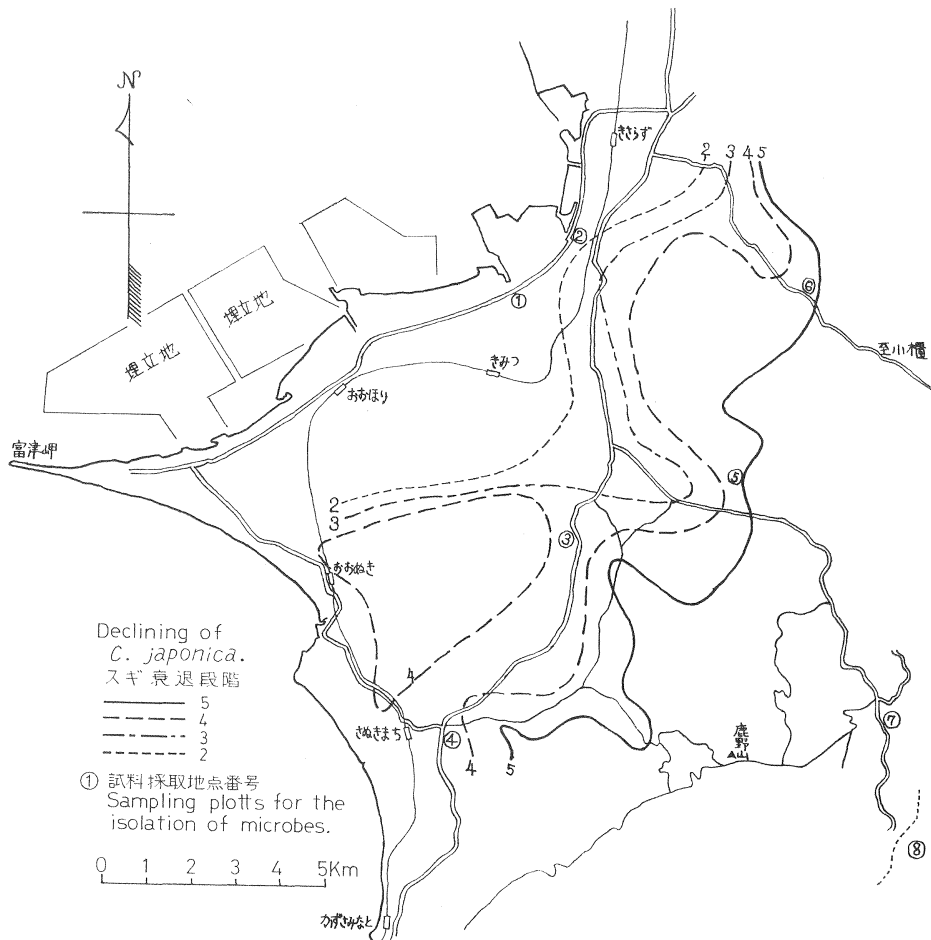


Fig. 3 木更津市および君津市周辺のスギ衰退地図
Declining of *C. japonica* along the sea coast of Tokyo bay
in Chiba Pref.

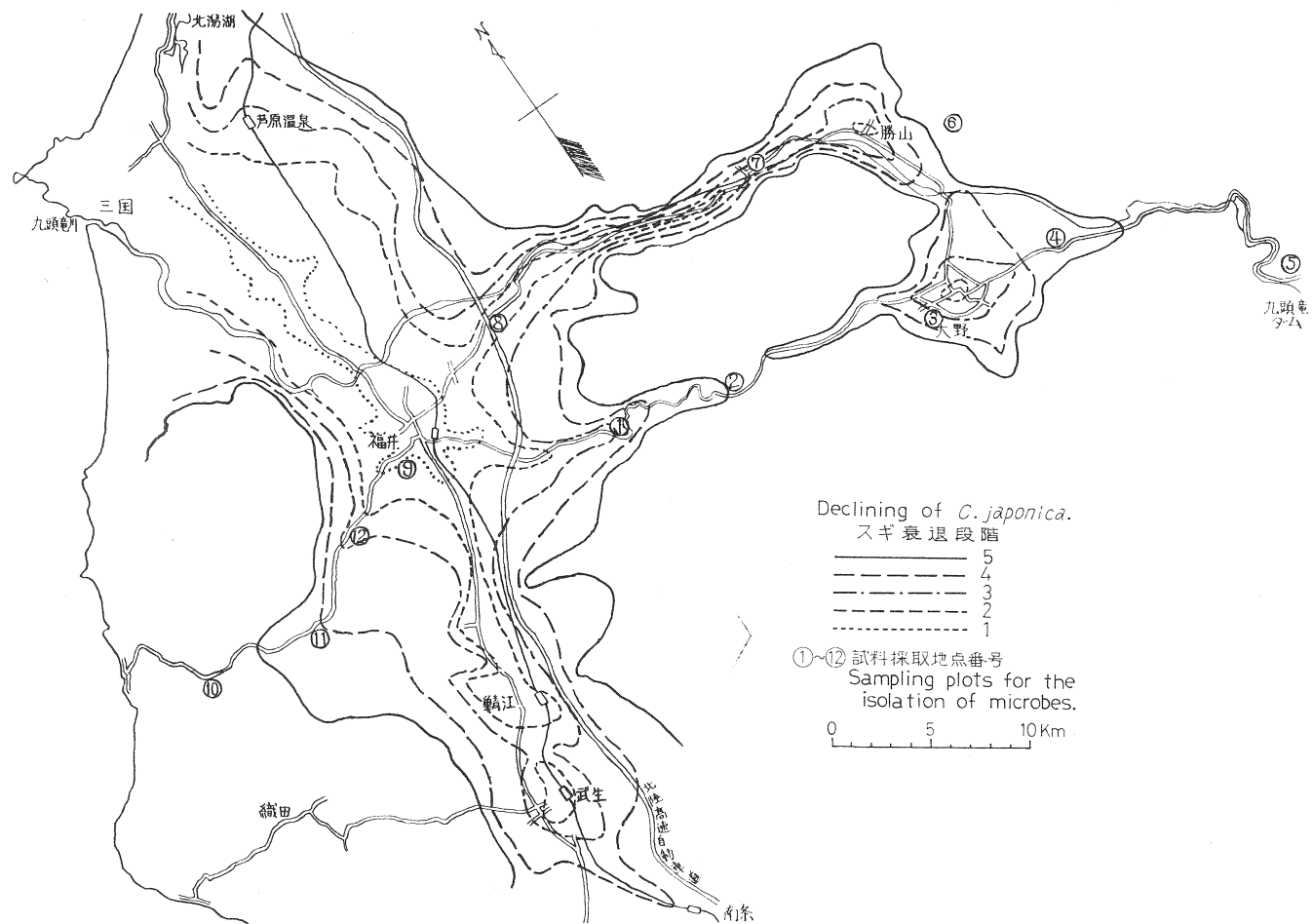


Fig. 4 福井県におけるスギ衰退地図
Declining of *C. japonica* in Fukui Pref.

し、ゆるやかに変化する。両方向とも都心から 60 km までは衰退が特に著しく評点 3 の範囲に入り、60 km を過ぎると衰退の程度は軽減される。高崎方向では都心からほぼ 100 km にあたる高崎市、前橋市を過ぎると、急速に衰退は認められなくなる。しかし、宇都宮方向では 100 km にあたる宇都宮市を過ぎても衰退が認められ、さらに北部へ広がっている。土浦および千葉方向は平地が連続しているが、土浦で 60 km、千葉で 40 km を過ぎると衰退は認められなくなる。

以上の結果は東京および京浜、京葉工業地帯を関東平野の主要な汚染源としてみた場合のものであり、宇都宮市の中心地でスギの枯死が認められたり、その他の小都市でも市の中心部で衰退が著しいことから、地方都市にはその都市内での衰退が大都市同様に進行しており、衰退の程度は連続していることが多い。

千葉県木更津市と君津市の付近では海岸の埋め立てと大規模な工業団地の造成が進められている。山地が海岸近くまで迫り、一方が海に開け平地面積が小さいので、スギは少ないが、Fig. 3 のように、その衰退範囲は狭く程度も弱く、評点 1 は認められない。図中おおぬき駅東側の評点 4 の線に囲まれた部分は、やや高い台地状をなしており、衰退の程度は弱い。衰退は低地を通る道路に沿って、内陸部へ侵入しつつあるように見える。

福井県では若狭地方を除くほぼ全域を調査した。福井市は東、西、南の三方を山地に囲まれ、北方にのみ開けた盆地地形の中心にあり、Fig. 4 のように最近開発の進められている九頭竜川河口から道路沿いに衰退が進み、鯖江市、武生市および山間の小都市である大野市、勝山市などでも評点 2 程度まで衰退が認められる。福井市の西側では峠付近まで衰退が認められるが、峠を越えるとスギは健全となった。しかし東側の狭い谷地形の所では、狭い幅で衰退の程度が変化しながら奥地へ侵入しているのが認められた。

京都市の古くからの市街地と、隣接する宇治市、向日市にはスギはほとんどなく、樹勢の衰えたものがごくまれに見られるにすぎない。スギは周辺の山地に接続する地域になって出現するが、Fig. 5 のように評点 1, 2 はほとんどな

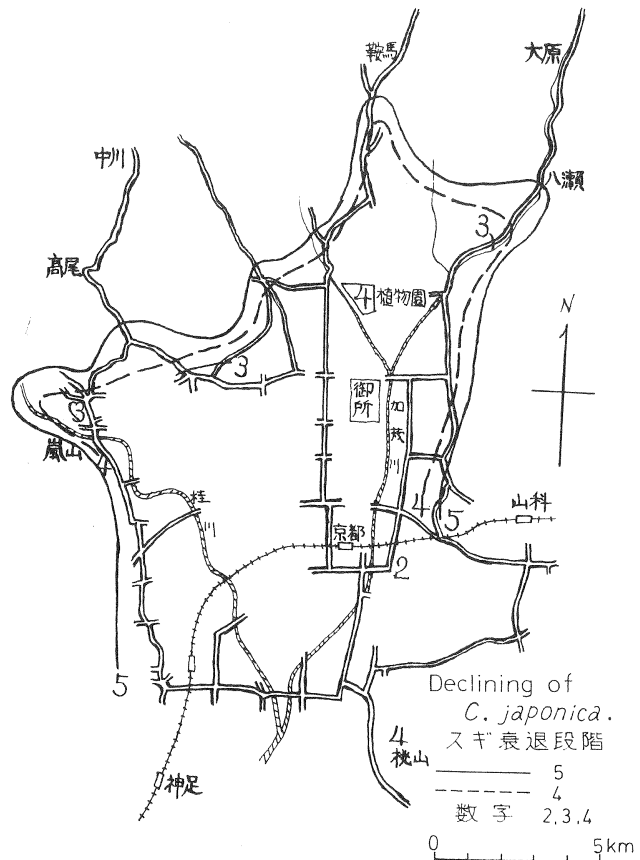
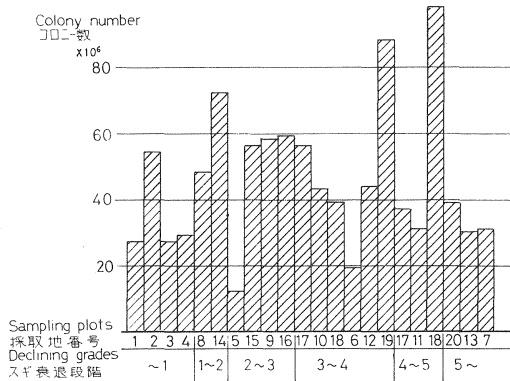


Fig. 5 京都市におけるスギ衰退地図
Declining of *C. japonica* in Kyoto city.



調査結果を Fig. 7～9 に示す。

糸状菌、放線菌は各調査地域とも数が少なく、不規則な変動を示し、スギの衰退との関連は認められなかった。しかし、細菌は明らかにスギの衰退に対応していると思われる変動を示し、芝生表層土の微生物と同様に都心部での減少が認められた。都心部に続く周辺の地域の評点 3～5 の範囲ではコロニー数が著しく増大し、さらに中心から離れると再び減少した。このような傾向は樹木の衰退の及んでいる範囲や、汚染の経歴の古さなどの相違によってかわるようである。樹木の衰退の範囲が広く、経歴の古い東京を中心とした関東地方の場合は、変動の幅が大きくはっきりした傾向は認められなかったが、衰退の程度が弱く、範囲の狭い千葉県と開発の経歴の比較的新しい福井県ではほぼ同様の結果が得られた。

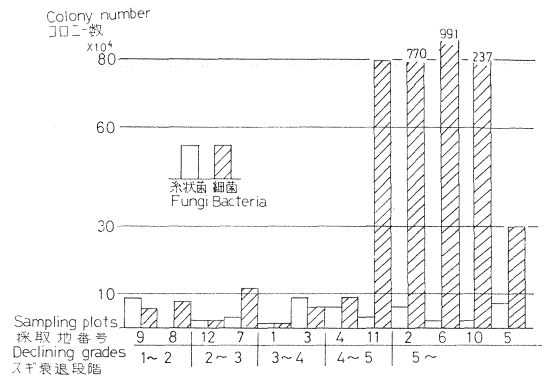


Fig. 9 福井県下におけるネマガリダケ葉面上の微生物相

Microbial flora on the leaf surface of *Sasa kurilensis* in Fukui Pref.

採取地点番号は Fig. 4 参照
Refer to Fig. 4 on the sampling plots.

考 察

いずれの調査地域でも程度の差はあるが、市街地や工業地域を中心に樹木の衰退が認められ、衰退の広がりには地形や気象状況にも左右される。東京を中心とする地域では、図に標高 100 m および 200 m の等高線を記すると衰退の限界は、西部および北部の大部分では標高 100～200 m の間に入る。北の足尾山地と八溝山地、筑波山に挟まれた平地ではさらに北へ広がっている。東部は平地であるが、40 km 付近で衰退が認められなくなる。これは夏の日中に東側から吹く海風によって閉鎖系が形成され²⁾、樹勢に影響を与える物質の拡散が抑制されるためと考えられる。

千葉県の場合も衰退の及ぶ範囲は海拔 50～100 m の間におさまリ、低地を通る道路に沿って内陸部へ侵入している。衰退の範囲が狭いのは、この地域の工場が建設途中であり、操業開始後日が浅いためと考えられるが、山地が迫り、一方が海に開けている地形とも関係があると考えられる。

福井市は再三の災害により市街地の樹木が減少したというが、図のように衰退は明らかに道路に沿って拡大しており、評点 5 の線は標高 100 m の線とはほぼ一致する。山間の小都市でも衰退が進行していることは、人間の生活に伴う石油製品の消費増大などがなんらかの影響を与えるとともに¹⁾、樹勢に影響を与える物質は低地に滞留するものと考えられる。

京都市の南部および宇治市、向日市は、以前はかなりの部分が耕地と沼沢地であり、本来スギはなかったと考えられるが、数多くの社寺のある市の北部や周辺の市街地にスギが全く見られないか、衰退の著しいものしか認められないのは古くからの市街化の影響と考えられ、盆地地形の大野市における衰退を拡大したような形になっている。

土壌微生物は多年にわたる種々の影響を受け、反応していると思われるが、調査が広域にわたる場合の変化は、植生の相違や人為的な攪乱によっても変化しやすく問題が多い。ゴルフ場の芝生の場合は、除

草、施肥、刈り取りなどほぼ共通する管理がされているが、土質や地形など本質的な差が大きく、樹木に対するほどの環境の悪化は、土壤の微生物にまでは及んではないようにみえる。東京を中心とした関東地方での例のように、調査地域が広い場合に変動の幅が大きくなるのは、微生物相の変動が単一の原因でなく、調査地点付近の市街地や都市の影響をも受けているためと考えられる。いずれの地域でも中心地付近での微生物の減少は明らかで、東京の場合のように、周辺部で認められたサビ菌 (*Puccinia Kusanoi*) が都心部で認められないなど、都心部での微生物の減少を裏付ける現象も多い。このようにスギの衰退は他の生物の変動をもかなり正確に反映するものと考えられる。調査結果では細菌は糸状菌に比べて敏感に反応しているようであるが、細菌と糸状菌は生活形態の違いもあり、厳密に測定するためには分離法や培地についての検討がさらに必要であろう。

む す び

都市化に伴う環境悪化の程度を示す指標として、樹木の衰退は蓄積された被害を具体的にとらえるものと考えられる。樹木の衰退現象は、環境条件や個体差によるばらつきが大きく、結果の数量化が難しいという点に、調査に多くの労力を必要とするなどの欠点はあるが、広い範囲内での長い期間の総合的な結果の指標としてとらえることができ、Photo. 6, 7 に示す明治神宮のスギの例のように経年変化を知る上にも多くの有利な点がある。

過去の東京都内の調査では、多くの場合2～3年で模式図に示した樹木の衰退程度が一段階さがる。環境条件の改善によって衰退の停止ないし回復の可能なのは評点3までであるが、このような段階的な変化を経ずに急激に衰退枯死する場合もみられた。

東京都内の場合、主要な大気汚染物質である二酸化硫黄は、1965年前後を頂点として減少しており、これに伴って1975年前後からケヤキの異常落葉の発生も減少しているが、周辺の評点3～4の地域では現在(1977)でも異常落葉が認められる。窒素酸化物や炭化水素などは横ばいかやや増加の傾向にあり³⁾、山地に遮られた西部および北部の評点5の線以外は最近でも外側に向かって移動しており、1976年の観察ではFig. 2の東部の5の線は東へ移動し、3, 4の線もそれにつれて移動している。

引 用 文 献

- 1) 福井県：いおう酸化物にかかる大気汚染解析報告書—福井・坂井地区一、(1974)
- 2) 科学技術庁資源調査会：高密度地域における資源利用と環境保全の調和に関する勧告，科学技術庁資源調査会勧告26号，(1972)
- 3) 環境庁企画調整局：環境統計要覧(52年版)，ぎょうせい，13～30，(1977)
- 4) 農林水産技術会議：農林水産生態系における汚染物質の循環と指標生物に関する研究，研究成果，102，298～301，(1977)
- 5) 小川 真・浅野真知子・山家義人：土地利用と微生物，森林立地 19，(2)，10～21，(1978)
- 6) 山家義人：東京都内における樹木衰退の実態，林試研報，257，101～109，(1973)
- 7) ———：東京付近における樹木衰退の実態，第85回日林講集，295～297，(1974)

Declining of Trees and Microbial Flora as the Index of Pollution in Some Urban Areas

Yoshito YAMBE⁽¹⁾

Summary

The deterioration of the environment was recorded and estimated by the declining of trees as an index from 1972 to 1976 in the 100km area from the centre of Tokyo, the area along the sea coast of Tokyo bay in Chiba Pref., Fukui Pref. and Kyoto city. Previously, the declining of trees had been researched in the urban area of Tokyo, and were divided into five grades by the forms of crowns and wiltings of branches and twigs.

In many cases, the declining of trees, especially that of *Cryptomeria japonica*, was recognized in the urbanized and industrial areas. The degree of decline was affected by the topography and the altitude above sea level. At first the wilting and decline of trees began in the urbanized low land and then spread to the mountain areas along the rivers and roads. The enlargement was shut off by high mountains, and the decline of *C. japonica* stopped at 200m above sea level. Therefore, the declining of trees enlarged like contour lines.

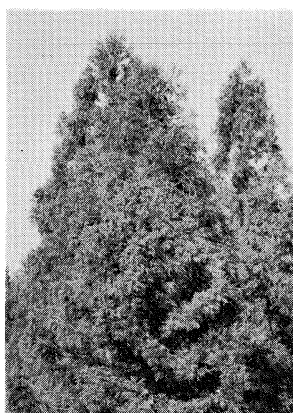
At the same time, the estimations of microbial population in the deteriorated areas of the environment were tried macroscopically, taking the decline of *C. japonica* as an index. Surface soil of lawns were collected from some public gardens and golf courses in the city and suburbs, and soil microbes were isolated and estimated by dilution plate method. The methods to catch the air-borne microbes were tested in the previous years. As a result, it was discovered that the microbes on the leaf surfaces of bamboos showed the relatively stable flora through a year depending on the habitats. So bamboo leaves were collected from the plots instead of the trap for air-borne microbes.

The distribution of soil microbes were irregular at each plot, and the tendency to depend on the declining of trees could not be recognized, partly because the lawn soil has been controlled and managed, and the microbial flora is too variable to indicate the deterioration of soil conditions. On the other hand, the microbial flora on the bamboo leaves showed the behavior corresponding with the declining of *C. japonica*. The number of bacteria showed a tendency to decrease in the area where *C. japonica* had reached 3rd grade of declining, and increased gradually towards the better area. The changes of fungi were not so clear as in the case of bacteria.

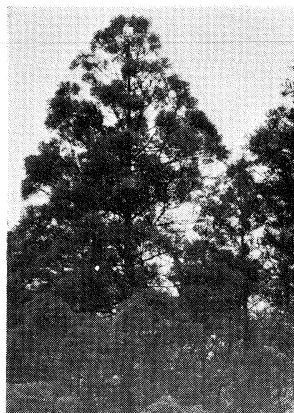
Such deterioration of environment as indicated by the declining of trees and the change in microbial flora has been caused by urbanization, and its major cause seems to be air pollution by some pollutants like oxidized nitrogens and carbon or sulphuric compounds discharged from the cities and industrial areas.

Received August 14, 1978

(1) Forest Soil Division



1



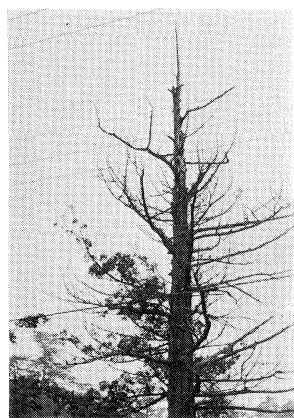
2



3



4



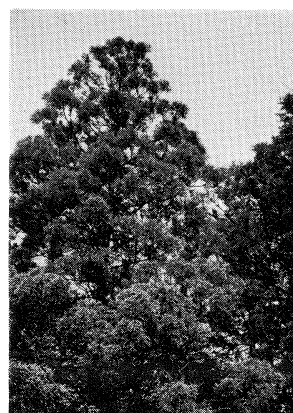
5

Photo. 1~5

スギ衰退の模式図の基準になった樹形

Standard forms of five declining grades in *C. japonica*.

1. 評点-5 Grade -5
2. 評点-4 Grade -4
3. 評点-3 Grade -3
4. 評点-2 Grade -2
5. 評点-1 Grade -1



6



7

Photo. 6 and 7

明治神宮スギ

C. japonica in Meiji shrine.

6. 1967年5月 評点-4
Photograph in May, 1967,
Grade -4
7. 1971年5月 評点-3
Photograph in May, 1971,
Grade -3

4年間で一段評点がさがった。
The declining progressed one
grade for 4 years.



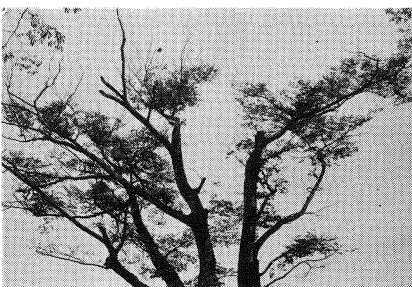
8



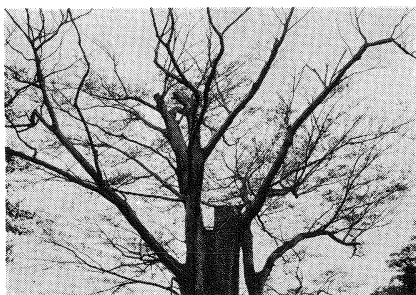
9



10



11



12

Photo. 8~12

ケヤキ衰退の模式図の基準になった樹形

Standard forms of five declining grades
in *Zelkova serrata*.

- 8. 評点-5 Grade-5
- 9. 評点-4 Grade-4
- 10. 評点-3 Grade-3
- 11. 評点-2 Grade-2
- 12. 評点-1 Grade-1