



# HOKKAIDO UNIVERSITY

|                  |                                                                                   |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Title            | 走査型電子顕微鏡による植物葉面付着砂塵質物質の観察                                                         |
| Author(s)        | 春木, 雅寛; 東, 正剛; 福田, 弘巳 他                                                           |
| Citation         | 北海道大学大学院環境科学研究科邦文紀要, 3, 31-47                                                     |
| Issue Date       | 1987-08-17                                                                        |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/37077">https://hdl.handle.net/2115/37077</a> |
| Type             | departmental bulletin paper                                                       |
| File Information | 3_31-47.pdf                                                                       |



## 走査型電子顕微鏡による植物葉面付着砂塵質物質の観察\*

春木雅寛 東 正剛

福田弘巳 伊藤浩司

生態系管理学講座

A SEM Study on the Atmospheric Dust  
adhered to the Plant Leaves

Masahiro Haruki, Seigo Higashi,

Hiromi Fukuda and Koji Ito

Department of Biosystem Management, Division of Environmental  
Conservation, Graduate School of Environmental Science,  
Hokkaido University, Sapporo 060, Japan

## 1. はじめに

積雪寒冷都市では冬季に車両に装着するスパイクタイヤによる砂塵質物質\*\*の散乱移動が人間の健康面に大きな影響を与えるとして、近年大きな問題となっている。今回の研究対象地の一つ札幌市では、これまで汚染の実態等について研究が進められた。いわゆる車粉塵は粒径 $5\sim 50\mu\text{m}$ のものが最も多く、道路アスファルト、スパイクタイヤのゴムおよびスパイクの鉄の三者の微粒子から構成される(毛利ほか1982)。またスパイクタイヤ車粉塵と推測される浮遊粉塵は地上約100mの高さにまで舞い上がり、地上付近で最も濃度が高い(毛利ほか1983)。季節的には、冬期は秋期に比べ浮遊粉じん( $10\mu\text{m}$ 以上の粒子を含む)濃度、浮遊粒子状物質( $10\mu\text{m}$ 以下)濃度はかなり高い値を示す(松本ほか1983)ことが報告されている。また既に長年にわたり発生したアスファルト粉塵が全市的に堆積し、スパイクタイヤ装着期ばかりではなく、通年にわたり飛散していること、さらに冬期浮遊粉塵および浮遊粒子状物質に占めるアスファルト粉塵の割合が高いことが明らかにされている(加藤ほか1985)。

これまでの大気汚染と植物との関係についての研究を概観すると、(i)生物指標として植物を用いた大気汚染の分級・診断(Taoda 1973, 宇部地域環境汚染研究グループ1976など)、(ii)森林樹木によるばいじん捕捉と大気浄化効果の研究(本多1975, 青木1985など)、および(iii)複合大気汚染と陸上植物への影響に関する諸研究(古川ら1978, 近藤1984など)が挙げられる。(iv)は生物・化学的な面からの研究が主体だが、大気汚染ガスによる植物の被害は気孔を通したガスの吸収量あるいは吸収速度に依存している点で、研究内容は最も基礎的かつ興味深い。古川ら(1978)は植物の気孔開閉とそさによって生じる水分収支には大気汚染物質は影響していないようで、気孔抵抗も水ポテンシャルも光、温度によって大きく影響され、大気汚染物質による影響が検知できないものと思われる、と述べている。その後の研究でも近藤(1984)は大気汚染ガスの種類や濃度により、これに対する気孔閉鎖のメカニズムは極めて複雑で未だ十分に解明されていないと述べ、大気汚染ガスの気孔

\* 積雪寒冷地域の都市化に伴う環境変動の動態的研究 (代表 伊藤浩司) [3]

\*\* 本論文では走査型電顕により観察された、試料植物に付着する粉粒物質を総称して砂塵質物質と呼ぶ。

影響の機構解明のためにも気孔研究の進展の必要性を強調している。このような気孔開閉運動については大政ら (1984), Omasa et al. (1984) により光学顕微鏡を用いた画像計測システムが開発され、気孔開度測定により生育中の葉の小領域における隣接した気孔の  $\text{SO}_2$  に対する反応が大きく異なるとの研究結果が出された。このことから大政ら (1985) は汚染ガスに対する植物の気孔反応の解明のためには、個々の気孔の動きに関しても十分な検討が必要であることを指摘しており、気孔研究の重要性が窺われる。

本研究は以上のような大気汚染物質と植物との関係についての諸研究成果を念頭におきつつ、これまで行なわれていなかった走査型電顕による植物葉面、殊に気孔部への砂塵質物質付着の実態を把握することを主眼とし、このような砂塵質物質に対する植物側の反応を Micro level でとらえ、広義の大気汚染と植物の関係に関する研究の基礎としようとした。

本論文は1983年春から1987年晩冬まで多雪都市札幌市を主対象とし、比較のため道東の寡雪都市釧路市\*を交え、樹木や草本植物葉面の採取時期、採取地点、着葉期間の違いによる砂塵質物質付着の程度や量などを観察研究したものである。

## 2. 調査方法

調査はまず植物種の違いと試料採取時期、地点の関係を知るために、札幌市では Sa. 交通量の最も多い市街地中心部の大通公園西 3~5 丁目, Sb. やや郊外近くの円山自然公園 (Sa. から西約 3.4 km), Sc. その中間地として北海道大学構内 (Sa. から北約 1.6 km), Sd. 郊外として豊平区清田団地奥 (Sa. から南東約 10 km) の 4 地点を試料採取地点として選んだ。釧路では Ka. 市街地中心部の柳町公園と Kb. 郊外地として釧路村の国道 44 号周辺国有林を選び、更にこのようなアスファルト粉塵の全くないと思われる T. 道北地方、北海道大学天塩演習林においても一部試料を採取した。

試料は必ずしも札幌と釧路とで、あるいは札幌市でも各地点に共通の植物種ばかりではないが<sup>2</sup>、一般的によく見られる植物のうちから採取し、内訳は以下の通りである。

高木・低木種; イチイ (S, K, T), トドマツ (S, K), ヨーロッパクロマツ (S), ヨーロッパアカマツ (S), モンタナマツ (K), (以上, 常緑針葉樹 5 種)

イチョウ\* (S), ポプラ (S), シラカンバ (S), ミズナラ (S), ハルニレ (S), カツラ (S), プラタナス (S), ニセアカシア (S), シナノキ (S), ライラック (S), (以上, 落葉広葉樹 10 種)

草本種; シロツメクサ (S), アカツメクサ (S), オオバコ (S), セイヨウタンポポ (S), カモガヤ (S), スズメノカタビラ (S)

(以上, 多年生および2年生草本は6種。Sは札幌, Kは釧路, Tは北海道大学天塩演習林での採取)

試料は高木・低木種は地上 1~1.5 m で毎回同じ部位から、また草本種は当年春期に地表に展開した葉を採取した。試料切片は個葉の中央部からとり、大きさは 5 mm 四方で、定法に従い固定、臨界点乾燥、金イオン蒸着を行なった後、15 KV で観察撮影した。

## 3. 結果

### 3.1 各植物種の砂塵質物質付着の程度

札幌市における調査結果をまとめると表 1 のようである。これを以下に各植物種毎に述べる。

\* 札幌市と釧路市の中間地点にあたる帯広市もスパイクタイヤによる砂塵質物質汚染の問題は深刻で (帯広 1986), 今や全道的な都市公害となっている。

\*\* ここでは落葉広葉樹とした。

表 1 各試料植物の観察結果の要約

| 植物和名                   | 学 名                                                | 生活型* | 葉面の毛や突起の有・無と密度 | 気孔の配列** | 気孔の横断面の形状***     | 平均的な気孔開口部のサイズ(幅×長さ, μm) | 春～秋期の葉面への砂塵物質付着程度・量(＋～＝)**** |
|------------------------|----------------------------------------------------|------|----------------|---------|------------------|-------------------------|------------------------------|
| 1. イ チ イ               | <i>Taxus cuspidata</i>                             | MM   | 無              | L       | 陥没型 (付フローリン・リング) | 12.8×17.9               | 当年葉＝, 2年目葉＝                  |
| 2. ト ド マ ツ             | <i>Abies sachalinensis</i>                         | MM   | 無              | L       | 陥 没 型            | 5.1×12.2                | (?)                          |
| 3. ヨーロッパクロマツ           | <i>Pinus nigra</i>                                 | MM   | 無              | L       | 〃                | 16.8×31.6               | 2年目葉＝                        |
| 4. ヨーロッパアカマツ           | <i>Pinus sylvestris</i>                            | MM   | 無              | L       | 〃                | 10.3×13.3               | 2年目葉＝                        |
| 5. モンタナマツ              | <i>Pinus montana</i>                               | MM   | 無              | L       | 〃                | 8.4×12.2                | 2年目葉＝                        |
| 6. イ チ ヨ ウ             | <i>Ginkgo biloba</i>                               | MM   | 無              | R       | 沈 降 型            | 1.9×12.7                | ＋                            |
| 7. ポプラ (イタリアクロボプラ)     | <i>Populus nigra</i> var. <i>italica</i>           | MM   | 無              | R       | 平坦～やや沈降型         | 0.5×13.7                | (?)                          |
| 8. シラカンバ               | <i>Betula platyphylla</i>                          | MM   | 無または有(疎)       | R       | ほぼ平坦型            | 4.8×16.8                | ＝                            |
| 9. ミズナラ                | <i>Quercus mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i> | MM   | 無              | R       | 隆 起 型            | 1.4× 9.2                | (?)                          |
| 10. ハルニレ               | <i>Ulmus japonica</i>                              | MM   | 有 (中～密)        | R       | やや隆起型            | 5.3×13.9                | ＝～＝                          |
| 11. カ ツ ラ              | <i>Cercidiphyllum japonicum</i>                    | MM   | 無              | R       | 平坦～やや隆起型         | 2.3×13.2                | ＋                            |
| 12. プラタナス (アメリカスズカケノキ) | <i>Platanus occidentalis</i>                       | MM   | 無              | R       | 〃                | 6.3×17.4                | (?)                          |
| 13. ニセアカシア             | <i>Robinia pseudo-acacia</i>                       | MM   | 無              | R       | 沈 降 型            | 0.7×10.3                | (＋～) ＋                       |
| 14. シ ナ ノ キ            | <i>Tilia japonica</i>                              | MM   | 無              | R       | 平坦～やや隆起型         | 2.6× 7.8                | (?)                          |
| 15. ライラック (ムラサキハシドイ)   | <i>Syringa vulgaris</i>                            | M    | 無              | R       | 平 坦 型            | 4.2× 9.2                | ＋                            |
| 16. カ モ ガ ヤ            | <i>Dactylis glomerata</i>                          | H    | 有 (中)          | L       | 沈 降 型            | 0.3×17.9                | ＋                            |
| 17. スズメノカタビラ           | <i>Poa annua</i>                                   | Th   | 無              | L       | 〃                | 0.2×22.4                | ＋                            |
| 18. シロツメクサ             | <i>Trifolium repens</i>                            | H    | 無              | R       | やや隆起型            | 0.3× 2.2                | ＋                            |
| 19. アカツメクサ (ムラサキツメクサ)  | <i>Trifolium pratense</i>                          | H    | 有 (密)          | R       | 沈 降 型            | 1.1×11.1                | (?)                          |
| 20. オ オ バ コ            | <i>Plantago asiatica</i>                           | H    | 有 (中)          | R       | やや沈降型            | 3.7×12.1                | ＝                            |
| 21. セイヨウタンポポ           | <i>Taraxacum officinale</i>                        | H    | 無              | R       | 平 坦 型            | 2.8×11.8                | ＋                            |

\* Raunkiaea の生活型で MM: 大形地上植物 (8 m 以上), M: 小形地上植物 (2～8 m), H: 接地 (半地中) 植物, Th: 2 年植物

\*\* L: 列状, R: ランダム

\*\*\* Klaus (1966) を参考にした。

\*\*\*\* (?) は不明を示す。

a. イチイ；当年葉は夏期（7, 8月）までは葉面に付着する砂塵質物質は少い。秋期（9, 10月）では葉面の砂塵質物質の付着はかなり多くなり、フローリン・リング (Florin ring) 内への侵入・付着も著しく増加する。しかし、リングを完全に塞いだものはまだ少い。ワックス (Wax) 片は秋期でもフローリン・リング上部や内壁および葉面はかなり多く残存する。

越冬した2年目葉では春期（4~6月）に既に過半、秋期には大半のフローリン・リング内部が砂塵質物質で塞がれている。ワックス残小片は春期までフローリン・リング上および内側に残存するが、その後ほとんど脱落する。なお、当年葉では個々の針葉の先端部と中央部と基部とで砂塵質物質の付着の程度が異なることもある。各地点別の汚れの程度の違いは本種においてのみ最も顕著にみられ当年葉、2年目葉とも大通公園が最も砂塵質物質付着増加が著しく、ワックス片脱落が最も早く進み、北大構内で約2カ月、円山公園で約半年の遅れであった。（写真1）

b. ヨーロッパクロマツ（2年目葉）；春期、急激に付着砂塵質物質が増加し、約半数の気孔室を塞ぐに至るが、葉面上の付着量は比較的少い。ワックス残片は葉面や気孔上部に散在する。夏期は更に付着砂塵質物質は増加傾向を示し、秋期には葉面の付着量はかなり著しくなる。気孔の大半は付着砂塵質物質で満ちているが、まだ完全に塞がっていないものもある。（写真2）

c. ヨーロッパアカマツ（2年目葉）；前年からの累積により、春期既に葉面の付着砂塵質物質の量はかなり多く、気孔も塞がっているものが多い。ワックス残片は気孔の内壁上部に若干残存する程度である。夏期は付着量が更に増加傾向を示し、秋期には気孔の大半が塞がっている。（写真3）

d. イチョウ；春~秋期を通して葉面に付着する砂塵質物質は若干みられる程度である。気孔内の付着はほとんどなく、スリット内への侵入付着はみられない。ワックスは細かい粉状で葉面に散在する。（写真4）

e. ポプラ；春期に葉面の砂塵質物質付着量はかなり多くなり、気孔内への侵入付着も少しみられる。しかし、スリット内への侵入付着はない。ワックス片は葉面および気孔上部にかなり多く残存している。夏期と秋期は不明。（写真5）

f. シラカンバ；春期はまだわずかの砂塵質物質が葉面に付着する程度で、気孔内へもほとんど侵入付着していない。しかし、夏期に顕著な増加傾向を示す。秋期は葉面の付着量はかなり多くなり、約半数の気孔にも侵入付着するが、気孔を塞ぐほどではなく、またスリット中への侵入付着はみられない。ワックス残片は葉面および気孔上部に散在している。（写真6）

g. ミズナラ；秋期では葉面の付着砂塵質物質の量がかなり多くなり、ほとんどの気孔で上部にセメント状に付着し塞ぎつつある。ワックスは葉面に比較的多く残存している。春期と夏期は不明。（写真7）

h. ハルニレ；春期は葉面に付着する砂塵質物質はかなり少く、気孔内への侵入付着もみられない。ワックス片は葉面にほとんど残存している。夏期は付着量がかなり増加し、気孔内にも稀に侵入付着するようになる。秋期には葉面に付着する砂塵質物質はかなりの量となり、気孔内への小片の侵入付着も時々みられるようになる。ワックス片は気孔上部や葉面に散在残存する。（写真8）

i. カツラ；春期は葉面に付着する砂塵質物質はごく少く、気孔内への侵入付着もみられない。ワックス片は葉面や気孔上部に散在する。夏期の付着量は微増傾向。秋期は葉面の砂塵質物質付着量はやや多くなるが、気孔内はワックス残片が上部に付着しているのみで、砂塵質物質の侵入付着はみられない。ワックス片は葉面はかなり多く残存する。（写真9）

j. プラタナス；春期は、砂塵質物質の葉面への付着はごく少ない。気孔内への侵入付着小片が稀にあるが、スリット内への侵入付着はみられない。ワックス残片は気孔上部および葉面に散在している。夏期と秋期は不明。（写真10）

k. ニセアカシア；春期はワックスが葉面のほとんどを覆い、付着砂塵質物質はごく少い。夏期はやや付

着量が増加する。秋期には葉面および気孔上部の付着量が比較的多いが、気孔内への侵入付着はほとんどない。ワックスは葉面にかなり多く残存している。(写真 11)

l. シナノキ；秋期は砂塵質物質が葉面にやや多く付着しているが、気孔への侵入は少く、スリット内への侵入付着はみられない。ワックス残片は葉面および気孔上部に散在する。春期と夏期は不明。(写真 12)

m. ライラック；秋期に至っても葉面は付着砂塵質物質がかなり少い。気孔内への付着もほとんどなく、スリット内への侵入付着はみられない。ワックス残片は気孔上部および葉面に散在する。(写真 13)

n. シロツメクサ；春期は砂塵質物質が葉面および気孔上部に少し付着しているが、夏期はかなり多くみられる。しかし、秋期は逆に減少し砂塵質物質の付着はほとんどみられず、気孔内への侵入付着もない。ワックスは秋期に至っても網状片となってかなり多く葉面に残存している。春～秋期で砂塵質物質の付着量が増加から減少傾向へと大きく変化するのは本種のみである。(写真 16)

o. アカツメクサ；春期で急速に葉面の付着砂塵質物質の量が増加し、セメント状の小片が多くみられる。気孔上部に付着するものは稀にみられるが、気孔スリット内への侵入付着はほとんどみられない。ワックスは剝離片状で葉面に密に存在する。夏期と秋期は不明。(写真 17)

p. オオバコ；春期、葉面に砂塵質物質が少し付着しはじめるが気孔内への侵入付着はみられない。夏～秋期にかけ葉面の付着量はやや増加する程度で、全体にそれほど顕著に付着していない。秋期は気孔上部に付着砂塵質物質が若干みられるものもあるが、気孔スリット内への侵入付着はない。葉面のワックスはほとんど脱落している。(写真 18)

q. セイヨウタンポポ；春期の砂塵質物質の付着量は比較的小く、気孔内への侵入付着もみられない。ワックス片は葉面および気孔上部にかなり多い。秋期に至っても付着量は微増程度で葉面には少く、気孔上部に小片が散在するものが若干みられるが、気孔スリット内への侵入付着はない。ワックス残片はほとんどが脱落したためごく少い。(写真 19)

r. カモガヤ；春～秋期を通じて葉面に付着する砂塵質物質は少く、気孔内への侵入もとくにみられない。ワックスは秋期に至っても葉面に多く残存する。(写真 14)

s. スズメノカタビラ；春～秋期を通じて葉面に付着する砂塵質物質の量はごく少く、気孔内への侵入付着もみられない。ワックスは秋期に至っても葉面にかなり多く残存する。(写真 15)

以上のように植物種の違いにより砂塵質物質付着の程度および季節的変化の傾向がさまざまに異なることがわかった。しかし、札幌市内試料採取 3 地点 (大通, 円山, 北大) 間の付着程度の違いはイチイを除き、ほとんど認められなかった。また、砂塵質物質は外見の特徴から稜角をもつ鉱物質と全く稜角を持たず丸みを帯び

表 2 各試料植物の春～秋期の砂塵質物質付着傾向の区分

| 春～秋期の砂塵質物質の付着傾向                   | 該 当 植 物                               |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| (a) 春期開葉後、付着量が急増しその後も漸増           | イチイ, ヨーロッパクロマツ, ヨーロッパアカマツ             |
| (b) 春期開葉後、付着量は漸増してゆき、秋期にはかなり顕著となる | シラカンバ, ハルニレ, カツラ, ニセアカシヤ, シナノキ, オオバコ  |
| (c) 春～秋期を通じて付着量の顕著な増加はみられず、少いまま推移 | イチヨウ, ライラック, カモガヤ, スズメノカタビラ, セイヨウタンポポ |
| (d) 春～秋期にかけて付着量は増加から減少傾向へと変動      | シロツメクサ                                |
| (e) 不 明                           | ボブラ, ミズナラ, ブラタナス, アカツメクサ              |

た無定形の非鉱物質とに分けられるが、一方のみが付着するといった選択性はみられず、どの植物種においても両者が混合付着していた。これら砂塵質物質の気孔への侵入付着による機械的な気孔一孔辺細胞の変形現象はとくに認められなかった。

以上に述べた各植物種ごとの砂塵質物質付着の季節的な変化(増加)の傾向は、表2のような(a)~(d)の四グループに分けられる。

このように、常緑針葉樹のイチイ、ヨーロッパクロマツ、ヨーロッパアカマツがいずれも(a)グループに含まれ、また例外的と考えられる(d)シロツメクサを除けば落葉広葉樹、多年生草本とも(b)、(c)グループにまたがり、砂塵質物質の付着に対し多様な反応を示すことがわかる。しかし、詳しくみれば表1に示したような沈降型の気孔を有し、しかも葉面がワックスで十分覆われたイネ科植物(カモガヤ、スズメノカタビラ)は砂塵質物質の付着が春~秋期を通じて少い結果となった。一般に春期開葉時の葉面および気孔内・上部のワックスは砂塵質物質の付着を弾くようで、砂塵質物質の付着はワックスの脱落を早めているように観察された。

### 3.2 常緑針葉樹の着葉年数と砂塵質物質付着の程度

札幌および釧路の市街地と比較のため郊外等から採取した試料について年次毎の葉面観察を行なった。試料採取地と樹種は以下の通りである。

札幌市街: イチイ(写真20), ヨーロッパクロマツ(写真27, 28)

〃 郊外: イチイ(写真22), トドマツ(写真26)

釧路市街: イチイ(写真21), トドマツ(写真24), モンタナマツ(写真29, 30)

〃 郊外: トドマツ(写真25)

および

北海道大学天塩演習林: イチイ(写真23)

観察結果から、札幌および釧路の市街地では各樹種とも砂塵質物質の付着量は少量づつでも年ごとに増加し、これは両市で傾向に変わらなかった。葉面における砂塵質物質付着の部位や程度は樹種により異なるが3年葉でかなり明瞭となった。葉の寿命はおおよそイチイ6年、トドマツ8~10年(但し、試料は6年葉まで採

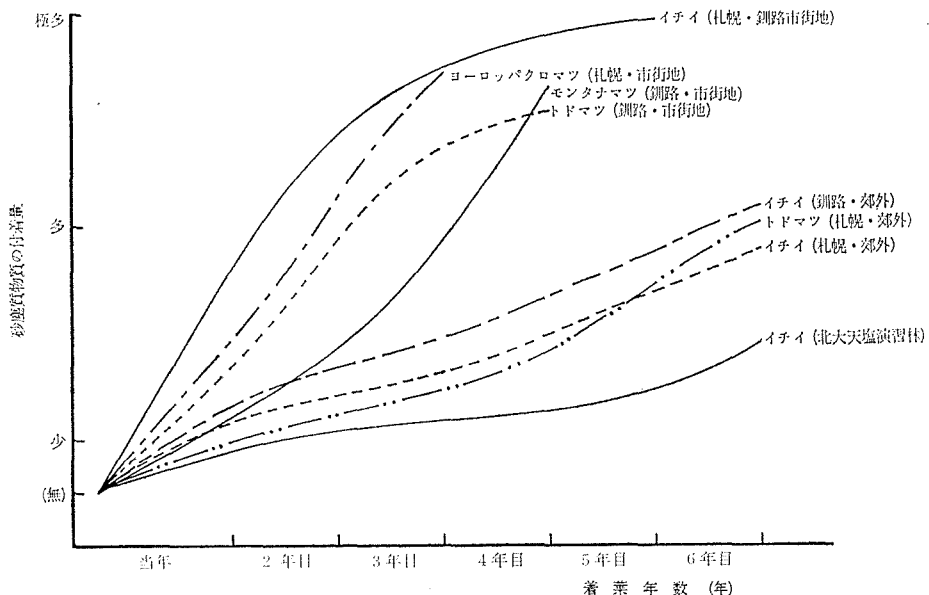


図1 常緑針葉樹の着葉年数と砂塵質物質付着増加傾向の模式図

取), ヨーロッパクロマツ3年, モンタナマツ4年のように樹種により異なるが, その長短にかかわらず4種とも3年目の葉では砂塵質物質は気孔を覆い, やがて全く塞ぐようになり, 同時に気孔内および上部のワックスの脱落が早まる傾向がみられた。

これら各樹種の砂塵質物質付着の程度の変化の様子を郊外等のサンプルを含め, 模式的に示すと図1のようである。

比較のため郊外で採取したサンプルでは, 砂塵質物質の葉面への付着の早さや付着量は札幌市と釧路市に共通して市街地に比べ遅くかつ少なかった。付着は郊外地の樹種の3~4年葉で市街地の樹種の当年葉程度しか示さなかった。

また, 郊外地の樹種では葉の気孔内および上部のワックスの脱落時期は, 市街地のものに比べかなり遅かった。これらとの比較のため道北地方の北海道大学天塩演習林内で採取したイチイでは最も砂塵質物質付着が遅く進み, かつ少く, ワックス脱落も6年葉で顕著になる程度で, 市街地—郊外地—遠隔地(森林)の順に砂塵質物質の付着の程度や付着量が少くなる傾向を示した。

## 4. 考 察

### 4.1 砂塵質物質の付着

1. 砂塵質物質の植物葉面付着量および増加傾向はイチイのような例外を除き, 札幌市内の交通量の多い中心部と周縁部とは, ほとんど違いはみられなかった。これは市内でも秋期と冬期の測定結果から浮遊粉じんの濃度は地点毎に異なるが, その中の過半の割合を占めるアスファルト粉じんが市街地のほぼ全域で一年を通して量的に大差ないほど蓄積していると推測されている(松本ら1983) ことと無関係ではないだろう。すなわち, 降雨, 融雪, 風などによって葉面から脱落してゆく通常の付着物よりも, より強固に付着し, 脱落しにくい物質が市街地を容易に移動し, 量的に地点ごとにより平均化されたもので, その主体がこのようなアスファルト粉じんである可能性が高い。

2. 広葉樹や草本類の葉面の毛や突起の有無は必ずしも砂塵質物質の葉面への付着, 気孔への侵入付着の量や程度と関係がなかった(表1参照)。しかし, 付着量や増加傾向は植物の種類により大きく異なることから(砂塵質物質が全て付着し易い物質か否かは不明だが), 植物の側の反応として, 気孔部の横断的形態やサイズ, ワックス(注: このワックスの形態や分布については植物分類学的重要性から最近研究が進んでいる(Yoshie and Sakai 1985)。しかし, その機能については, まだ不明の点が多い。)の形態や脱落までの期間が重要なポイントであると考えられる。表1のように陥没型気孔をもち, 開口部サイズの最も大きい常緑針葉樹5種はいずれも砂塵質物質の気孔内への侵入付着が概して早いようである。一方, 沈降型気孔を示す植物の中でもカモガヤ, スズメノカタビラのようなイネ科植物は開口部サイズがかなり小さく, しかもワックスが葉面全体を覆っているため, 毛や突起が表面に中〜密に存在するにもかかわらず春〜秋期を通じて最も付着砂塵質物質が少く, 付着物への防御上, 有利であると考えられる。しかし, 他の沈降型, 平坦〜やや沈降あるいはやや隆起型など諸型を示す落葉広葉樹や草本植物の気孔は, 開口部サイズが中間的であり, 砂塵質物質の付着量や付着程度もさまざまで, 必ずしも陥没型に比べ有利, 沈降型に比べ不利とも言いきれない植物もある。またワックスの関与については, シロツメクサのように砂塵質物質の付着量が春〜秋期の間に増加から減少傾向へと変動する植物があり, この場合はワックスの形態の他にも厚み, 量, 剝離のし易さなどが関係しているものと考えられる。

3. 砂塵質物質は外見的には稜角をもつ鉱物質と稜角をもたず無定形の非鉱物質に分けられたが, 葉面の付着あるいは気孔内への侵入付着砂塵質物質でみる限り, 植物の側からの選択性はないようである。砂塵質物質付着による被害として, 当初, 気孔内への侵入付着による変形, 破壊も想定されたが, とくに観察されな

った。むしろイチイや、ヨーロッパクロマツさらにはミズナラ、アカツメクサに顕著にみられたように、気孔内に侵入付着した砂塵質物質が増加し、これを塞ぐことによる生理的障害(閉鎖機能の低下、停止)が考慮されるべきである。最も多くみられる葉面の付着砂塵質物質ではその有毒性の有無など化学的影響のいかんも今後の検討課題である。

#### 4.2 常緑針葉樹の着葉期間の長さとその意義

1. 気孔の閉鎖のメカニズムと大気汚染(物質)との関係についての研究は、“生産”と直結することから最近急速に進みつつある新しい分野であるが、多くは一年生草本が対象で、本研究のような常緑針葉樹の過年度の葉の観察例はほとんどない。試料植物の着葉期間はおよそ3~10年と樹種により異なるが、いずれの樹種も採取地点が都市市街地か、郊外地か、あるいは遠隔森林地であるかにかかわらず、年を経るにつれて次第に砂塵質物質の付着量は増加してゆくようである。もちろん、付着量や程度はモンタナマツのように比較的軽微な植物を除けば遠隔森林地→都市郊外地→都市市街地の順に増大し、多雪地、寡雪地にかかわらず市街地では郊外等に比べ、砂塵質物質(絶対量)や移動量がかなり多いことを示唆している。観察されたような針葉の気孔内のワックスの早期脱落は砂塵質物質の付着量増加を招き、更に気孔が砂塵質物質で塞がれるに至っては生理的障害を誘発する可能性が高くなる。

2. 以上の点から微視的には、常緑針葉樹の針葉(ここではモンタナマツを除きイチイ、ヨーロッパクロマツ、トドマツなどの針葉)を用いて通年の散乱移動砂塵質物質(=大気の汚れ)に対する指標植物として、あるいは積雪寒冷期間中のスパイクタイヤによる砂塵質物質に対する指標植物として利用可能である。

3. これまで葉によるばいじん捕捉を利用して都市公害対策を進めようとする見地から道外各地で種々の調査研究が進められ、森林による大気浄化の効果が認められている(本多1974など)。また本多(1978)は汚染物質捕捉能力のより高い樹種を見つけ出す目的でカイヅカイブキほか常緑広葉樹8種の比較植栽試験を行ない、植栽2ヵ月後の結果から常緑針葉樹であるカイヅカイブキが最も公害抵抗性が大きく、しかも形態的にも葉の表面の凹凸が多いため、ばいじん捕捉機能が他に比べかなり大きかったと述べている。本研究においても樹種の検討は今後の課題ではあるが、針葉は砂塵質物質を数年間捕捉することにより、大気汚染物質( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ 等)の捕捉と同じような緩衝的働きを行なっている。したがって、間接的に都市生活にとっての環境保全的役割を果たしていると考えられる。

### 5. ま と め

近年積雪寒冷都市では冬期のスパイクタイヤによる砂塵質物質の散乱移動が大きな問題となってきた。本研究は走査型電子顕微鏡を用いて、砂塵質物質に対する植物葉表面の反応を把握する目的で、1983年から1987年にかけて道央の多雪都市札幌と道東の寡雪都市釧路において、常緑針葉樹、落葉広葉樹および多年生草本植物など19種の葉面の採取時期、採取地点、着葉期間の違いによる汚れを観察研究した。

1. 砂塵質物質の植物葉面付着量および増加傾向は、一部の例外を除き札幌市内の交通量の多い中心部と周縁部とでは、ほとんど違いはみられなかった。これは既に通年にわたりかなりの量蓄積している砂塵質物質の主体をなすアスファルト粉塵量が、市街地各地点でかなり平均されているためと考えられる。

2. 砂塵質物質は外見的には稜角をもつ鉱物質と稜角をもたず無定形の非鉱物質に分けられるが、植物の側からの気孔への侵入付着に対する選択性や、侵入付着による変形・破壊現象はとくに観察されなかった。

3. 着葉期間が数年にわたる常緑針葉樹葉では、付着砂塵質物質は年を経るごとに少量づつでも増加してゆき3年目葉からはかなり明瞭となる。付着量は遠隔森林地→都市郊外地→都市市街地の順に増大し、市街は多雪地、寡雪地にかかわらず前二者に比べ砂塵質物質(絶対量)や移動量がかなり多いことを示唆している。

4. 砂塵質物質の付着の程度や付着量は植物の種類によりかなり異なり、a. 春期急増後、秋期まで漸増、

b. 春期から秋期にかけ漸増, c. 春～秋期にかけて付着量が少い, d. 春期から秋期にかけて増加→減少と変動, の4グループに分けられ, 葉表面の毛や突起の有無, 気孔サイズよりも気孔部の横断の形態やワックスの形態, 脱落までの期間が大きなポイントであると考えられる。

5. 付着量は増加しても気孔スリット内に侵入付着しているものはほとんど見られないが, 殊に常緑針葉樹葉では気孔内のワックスの早期脱落は砂塵質物質の付着量増加を招き, 更に気孔が砂塵質物質で塞がれるに至っては生理的障害を誘発する可能性が高くなる。

6. 以上の点から微視的には, 種々の常緑針葉樹(イチイ, トドマツ, ヨーロパクロマツ, モンタナマツなど)の針葉を用いて通年の散乱移動砂塵質物質に対する指標植物として利用可能である。

7. また常緑針葉樹の針葉は砂塵質物質を数年間捕捉することにより, 大気汚染物質( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  など)の捕捉と同じような緩衝的, 大気浄化的働きを行なっており, 従って間接的に都市生活にとっての環境保全的役割を果たしていると考えられる。

## 文 献

- 青木 敦 (代表) (1985): 浮遊粉塵の浄化に果す森林および都市部での社寺林の機能. 文部省「環境科学」特別研究報告集 (B-265-R15-7). 34 pp.
- 古川昭雄・清水英幸・藤沼康実・戸塚 績 (1978): 都市域の野外条件下における大気汚染質の植物影響に関する予備調査. 「陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎的研究」昭和51/52年度研究報告. 国立公害研究所特別研究成果報告 R-2, 145-163.
- 春木雅寛・伊藤浩司 (1984): 走査電顕による植物葉表面の汚れについて. 第3回環境科学合同研究発表会講演要旨集, 46-48. 環境科学合同研究発表会連絡協議会.
- 本多 伸 (1974): 都市の公害防止に関する樹木と空間効果の基礎的研究 III, 樹葉の煤塵捕捉効果. 千葉大園学報, 22: 81-88.
- 本多 伸 (1978): 人工植生の環境形成作用一ばいじんの捕捉浄化. 千葉大学環境科学研究報告, 3: 71-77.
- 加藤拓紀・野口 泉・松本 寛 (1985): 札幌市における大気中浮遊粉じんへのアスファルト粉じんの影響. 北海道公害防止研究所報, 12: 13-21.
- Klaus, Napp-Zinn (1966): Anatomie des Blattes I. Blattanatomie der Gymnospermen. Handbuch der Pflanzenanatomie (B. K. Linsbauer ed.) 68-75. Gebrüder Borntraeger, Berlin-Nikolassee.
- 近藤矩朗 (1984): 大気汚染ガスに対する気孔反応による防御. 「複合大気汚染の植物影響に関する研究」昭和54~56年度特別研究総合報告. 国立公害研究所研究報告, 64: 78-87.
- 松本 寛・加藤拓紀・井高 一 (1983): スパイクタイヤ装着期における札幌市の大気中浮遊粉じんの実態. 北海道公害防止研究所報, 10: 48-63.
- 毛利 衛・加藤茂樹・小畑龍夫・橋場正男・佐竹 徹・山科俊郎・小林正資・雨宮 進 (1982): スパイクタイヤ車粉塵の精密分析 (第一報). 北海道大学工学部研究報告, 108: 71-80.
- 毛利 衛・雨宮 進・前田 滋・福田 伸・加藤茂樹・佐竹 徹・橋場正男・山科俊郎 (1983): スパイクタイヤ車粉塵の精密分析 (第二報). 北海道大学工学部研究報告, 114: 47-56.
- 帯 広 市 (1986): 帯広市における公害の現状. 昭和60年度版, 15-33+80-85.
- 大政謙次・橋本 康・相賀一郎 (1984): 気孔開閉運動の画像計測. 「複合大気汚染の植物影響に関する研究」昭和54~56年度特別研究総合報告. 国立公害研究所研究報告, 64: 285-289.
- Omasa, K., Hashimoto, Y. and Aiga, I. (1984): Image instrumentation of plants exposed to air pollutants (6) Light microscope system for direct observation of stomatal movements of intact plants. Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud., Jpn., 66: 113-123.
- 大政謙次・尾上守夫 (1985): デジタル画像処理による気孔反応の評価. 国立公害研究所研究報告, 82: 43-52.
- Taoda, H. (1973): Bryo-meter, an instrument for measuring the phytotoxic air pollution. Hikobia (Japan), 6: 224-228.
- 宇部地域環境汚染研究グループ (1976): 生物指標による大気汚染の分級と診断 (1), (2). 環境情報科学 5 (1):

52-63, および 5(2): 61-72.

Yoshie, F. and Sakai, A. (1985): Types of Florin rings, distributional patterns of epicuticular wax, and their relationships in the genus *Pinus*. Can. J. Bot. 63, 12: 2150-2158.

### Summary

The atmospheric dusts adhered to leaves of plants which sampled mainly in Sapporo and Kushiro cities of Hokkaido were observed during 1983 to 1987 using SEM. A total of twentyone species summed five species of evergreen conifers, ten species of deciduous broad-leaved trees and six species of herbs were collected.

Although the degree and quantity of the atmospheric dust adhered differed in different plant species, the phenomena such as physical destroy and deformation were not observed in their stomata. But, it is stressed that there is a strong possibility of physiological functional diseases resulting in the shutoff of ventilation.

In the urban districts, the differences among the sampling stations were little recognized in respect to the degree and quantity of the adhered dust, but a marked tendency to increase from woodland far from big cities, through suburbs to urban areas was seen.

The atmospheric dust adhered to the leaves of evergreen conifers which live in several years increased year after year. From this, such evergreen conifers could be used as indicator plants in the atmospheric dust pollution microscopically. And, it may safely be said that such evergreen conifers play an important role of environmental conservation in our urban life.

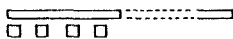
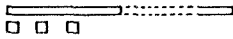
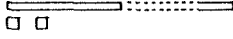
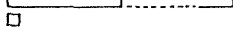
### 写真説明

- 写真 1. イチイ (*Taxus cuspidata*) 2年目葉。札幌, 大通公園で1983年秋期(10月)採取。フローリン・リング内が侵入付着した砂塵質物質で塞がりつつある。
- 写真 2. ヨーロッパクロマツ (*Pinus nigra*) 2年目葉。札幌, 北海道大学構内で1983年秋期(9月)採取。気孔内への砂塵質物質の侵入付着が著しい。
- 写真 3. ヨーロッパアカマツ (*Pinus sylvestris*) 2年目葉。札幌, 大通公園で1983年春期(4月)採取。気孔内への砂塵質物質の侵入付着が著しい。
- 写真 4. イチョウ (*Ginkgo biloba*) 札幌, 円山公園で1983年春期(6月)採取。葉面に付着する砂塵質物質は若干みられるが気孔内への侵入付着はみられない。葉面のワックス片が顕著。
- 写真 5. ポプラ (*Populus nigra* var. *italica*) 札幌, 大通公園で1983年春期(6月)採取。葉面の砂塵質物質の付着はかなり顕著だが、気孔内への侵入付着はみられない。ワックス片は葉面に散在。
- 写真 6. シラカンバ (*Betula platyphylla*) 札幌, 大通公園で1983年秋期(9月)採取。葉面の付着砂塵質物質はかなり多く、半数近い気孔に侵入付着。
- 写真 7. ミズナラ (*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*) 札幌, 円山公園で1983年秋期(9月)採取。葉面の付着砂塵質物質がかなり多く、気孔上部にセメント状に付着しているものも多くみられる。
- 写真 8. ハルニレ (*Ulmus japonica*) 札幌, 大通公園で1983年秋期(10月)採取。葉面の付着砂塵質物質はかなり多いが、気孔への侵入付着はみられない。
- 写真 9. カツラ (*Cercidiphyllum japonicum*) 札幌, 大通公園で1983年秋期(9月)採取。葉面の付着砂塵質物質は比較的多い。気孔内はワックス残片がみられるが、砂塵質物質の侵入付着はない。

- 写真 10. プラタナス (*Platanus occidentalis*) 札幌, 円山公園で 1983 年春期 (6 月) 採取。葉面の付着砂塵質物質は少ないが, 稀に気孔内に侵入付着するものもある。但し, 気孔スリット内への付着はみられない。ワックス片は葉面に散在。
- 写真 11. ニセアカシア (*Robinia pseudo-acacia*) 札幌, 大通公園で 1983 年秋期 (9 月) 採取。葉面の砂塵質物質の付着は比較的多いが, 気孔内への侵入付着はほとんどみられない。ワックス片は葉面にかなり多く残存。
- 写真 12. シナノキ (*Tilia japonica*) 札幌, 大通公園で 1983 年秋期 (9 月) 採取。葉面に砂塵質物質の付着が多くみられ, 気孔内にも少し侵入付着している。ワックス残片は葉面や気孔上部に散在する。
- 写真 13. ライラック (*Syringa vulgaris*) 札幌, 大通公園で 1983 年秋期 (9 月) 採取。葉面の砂塵質物質の付着は少く, 気孔内にも侵入付着するものはみられない。葉面と気孔上部にワックス残片が散在。
- 写真 14. カモガヤ (*Dactylis glomerata*) 札幌, 大通公園で 1983 年秋期 (9 月) 採取。砂塵質物質は葉面に少し付着するが, 気孔への侵入付着はみられない。ワックスは葉面にかなり多く残存。
- 写真 15. スズメノカタビラ (*Poa annua*) 札幌, 大通公園で 1983 年秋期 (9 月) 採取。葉面の付着砂塵質物質は少く, 気孔への侵入付着もみられない。ワックスは葉面にかなり多く残存。
- 写真 16. シロツメクサ (*Trifolium repens*) 札幌, 北海道大学構内で 1983 年秋期 (9 月) 採取。付着砂塵質物質は春期に増加したが, 秋期には減少傾向を示した。葉面の付着砂塵質物質は若干あるが, 気孔への侵入付着はみられない。葉面にワックス残片が散在。
- 写真 17. アカツメクサ (*Trifolium pratense*) 札幌, 円山公園で 1983 年春期 (6 月) 採取。葉面や気孔上部に付着する砂塵質物質が増加し, 気孔を塞ぎつつある。
- 写真 18. オオバコ (*Plantago asiatica*) 札幌, 大通公園で 1983 年秋期 (10 月) 採取。葉面の付着砂塵質物質は比較的多く, 気孔内に侵入付着するものもみられる。ワックスはほとんどが脱落済み。
- 写真 19. セイヨウタンポポ (*Taraxacum officinale*) 札幌, 大通公園で 1983 年秋期 (10 月) 採取。葉面上の付着砂塵質物質は全体に少い。気孔上部には稀に小片が付着している。ワックス残片は大半が脱落。
- 写真 20. イチイ (*Taxus cuspidata*) 4 年葉。札幌, 北海道大学構内で 1984 年 12 月採取。葉面の砂塵質物質の付着がかなり多いが, フローリン・リング内の気孔への侵入付着も相当量みられ, 大半が塞がりつつある。
- 写真 21. イチイ (*Taxus cuspidata*) 4 年葉。釧路市街地で 1986 年 11 月採取。写真 20 と同様, フローリン・リング内の気孔が砂塵質物質で大半塞がりつつある。
- 写真 22. イチイ (*Taxus cuspidata*) 6 年葉。札幌市郊外 (豊平区清田) で 1986 年 11 月採取。6 年葉では葉面の付着砂塵質物質はかなり増加している。しかし, フローリン・リング内の気孔に侵入付着し, これを全く塞いでいるものは少い。
- 写真 23. イチイ (*Taxus cuspidata*) 6 年葉。道北地方の北海道大学天塩演習林内で 1986 年 11 月採取。6 年葉で葉面への砂塵質物質の付着は若干みられるようになったが, 気孔内への侵入付着はまだ少い。
- 写真 24. トドマツ (*Abies sachalinensis*) 3 年葉。釧路市街地で 1986 年 3 月採取。3 年葉で既に葉面の付着砂塵質物質がかなり多い。また, 気孔内への侵入付着も顕著で, 塞がりつつある。

- 写真 25. トドマツ (*Abies sachalinensis*) 6 年葉。釧路市郊外で 1986 年 11 月採取。葉面の付着砂塵質物質はかなり少い。縦横に走る紐状のものは菌糸と思われる。気孔内はまだワックス (コイル状) 片が残存しているものもみられる。
- 写真 26. トドマツ (*Abies sachalinensis*) 6 年葉。札幌市郊外 (豊平区 清田) で 1986 年 11 月採取。6 年葉では葉面の付着砂塵質物質がやや顕著になってきたが、全体的には少い。気孔内はまだワックス片が残存しているものもみられる。
- 写真 27. ヨーロッパクロマツ (*Pinus nigra*) 3 年葉 (背軸部)。札幌、北海道大学構内で 1985 年 12 月採取。葉面の付着砂塵質物質はそれほど多くはないが、大半の気孔は侵入付着した砂塵質物質で塞がりつつある。
- 写真 28. ヨーロッパクロマツ (*Pinus nigra*) 3 年葉向軸部。札幌、北海道大学構内で 1985 年 12 月採取。背軸部 (外側) に比べ内側を向いていることにより、葉面に付着する砂塵質物質はやや少い。しかし、気孔内の砂塵質物質の侵入付着状態はほとんど変わらない。
- 写真 29. モンタナマツ (*Pinus montana*) 4 年葉 (背軸部)。釧路市街地で 1986 年 11 月採取。葉面の付着砂塵質物質はかなり増加している。ほとんどの気孔が侵入付着した砂塵質物質で塞がりつつある。
- 写真 30. モンタナマツ (*Pinus montana*) 4 年葉向軸部。モンタナマツでは向軸部の葉面の付着砂塵質物質の量は背軸部とほとんど変わらない。気孔も背軸部と同様に、大半が塞がりつつある。釧路市街地で 1986 年 11 月採取。

付表 写真下部に表示された縮尺 (ミクロンマーカ) の読取り

| 倍 率              | ミクロンマーカ                                                                             | 換 算 距 離       |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 10×～ 70×         |   | 1,000 $\mu m$ |
| 100×～ 700×       |  | 100 $\mu m$   |
| 1,000×～ 7,000×   |  | 10 $\mu m$    |
| 10,000×～ 70,000× |  | 1 $\mu m$     |
| 100,000×         |  | 0.1 $\mu m$   |

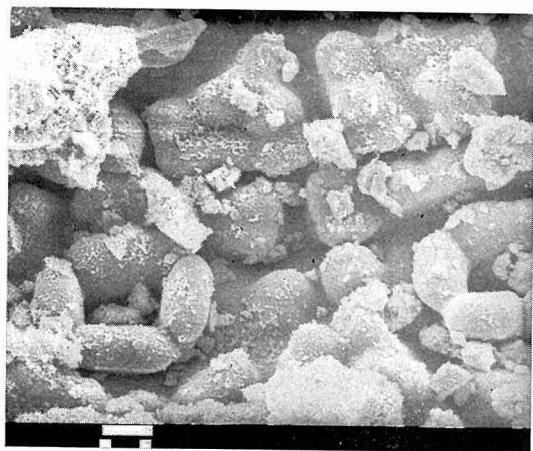


写真 1

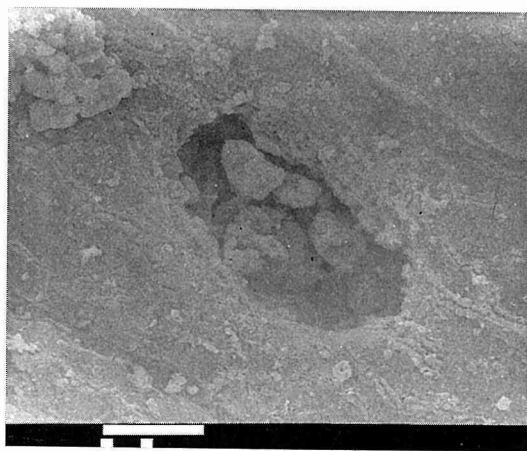


写真 2

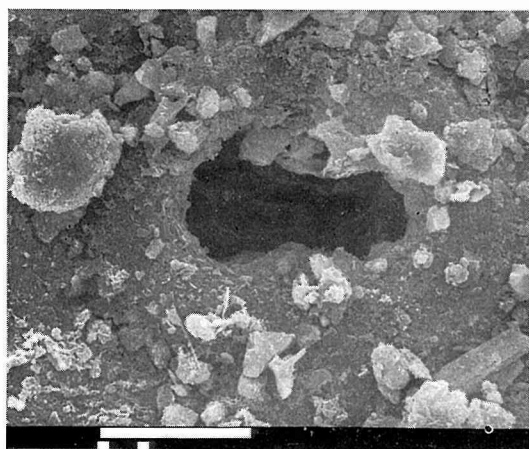


写真 3

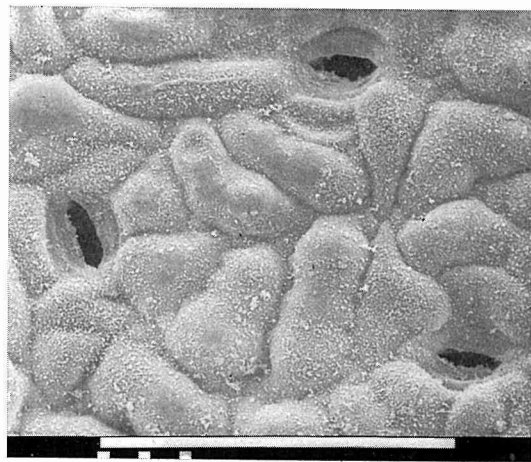


写真 4



写真 5

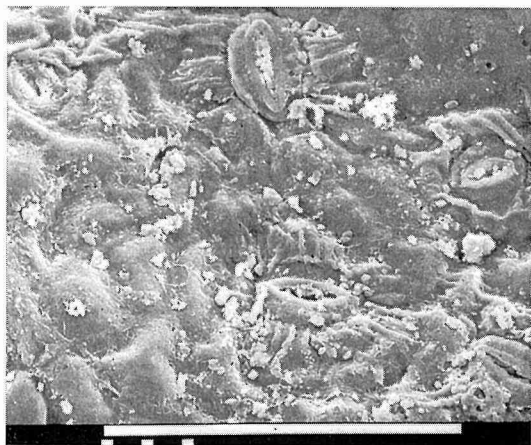


写真 6

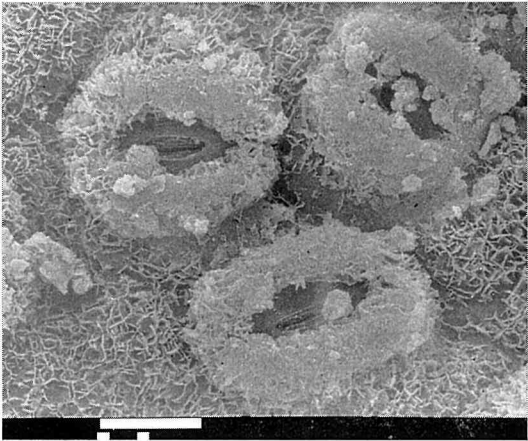


写真 7

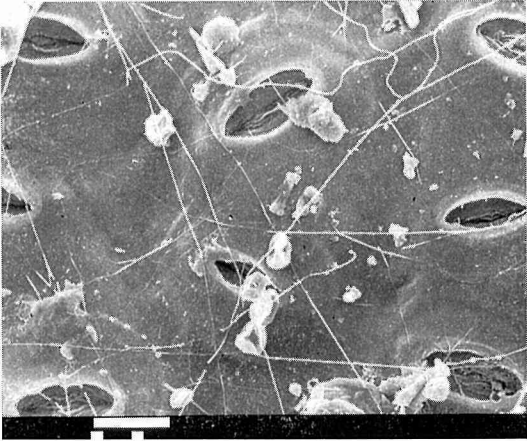


写真 8

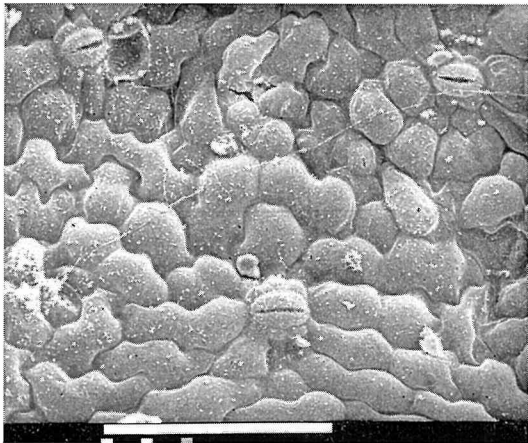


写真 9

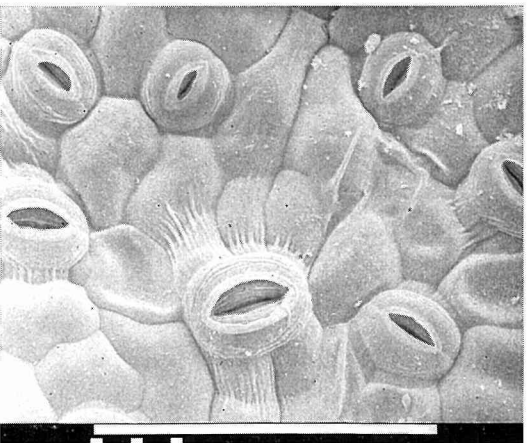


写真 10

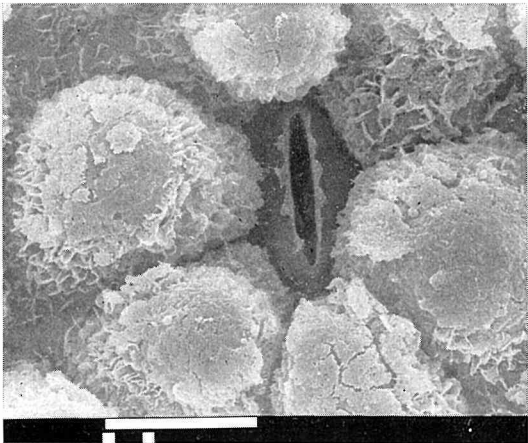


写真 11

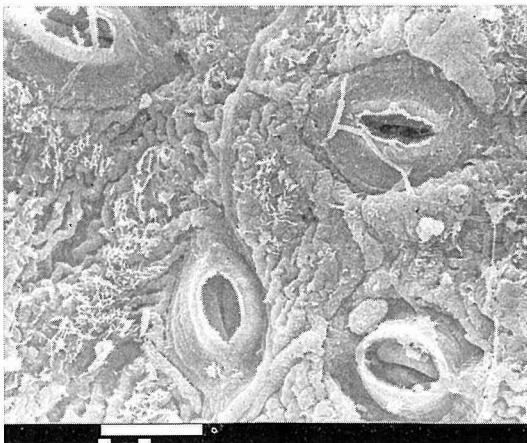


写真 12



写真 13

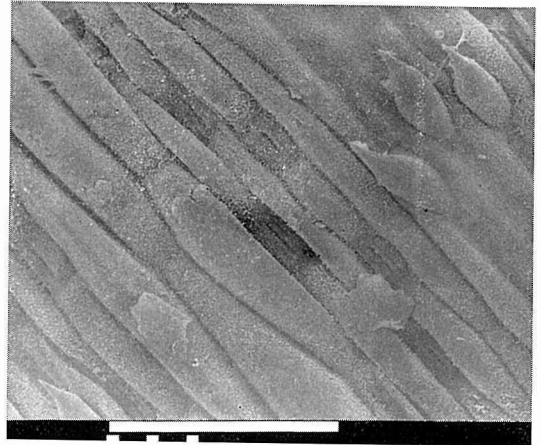


写真 14

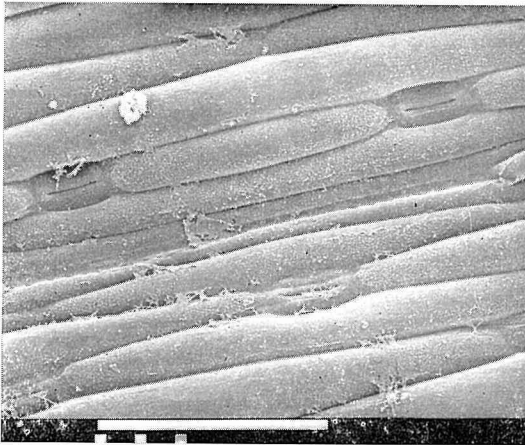


写真 15

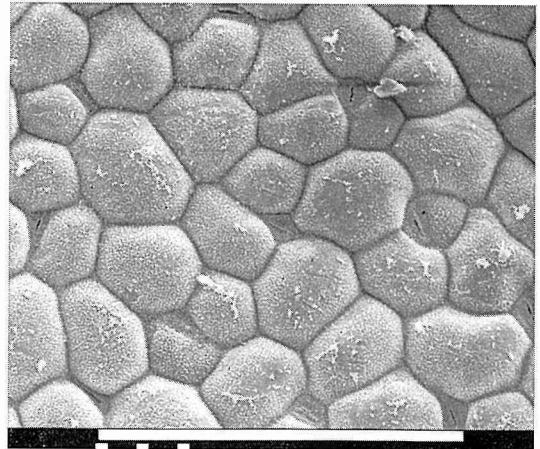


写真 16

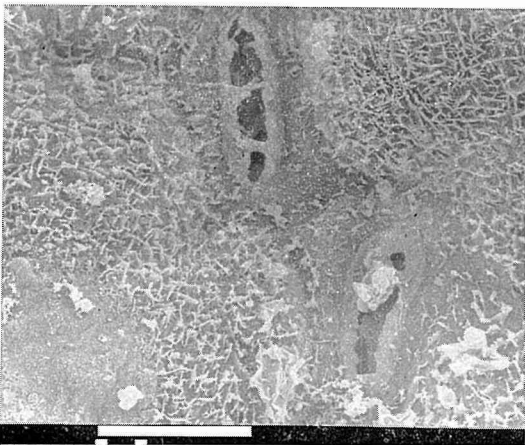


写真 17

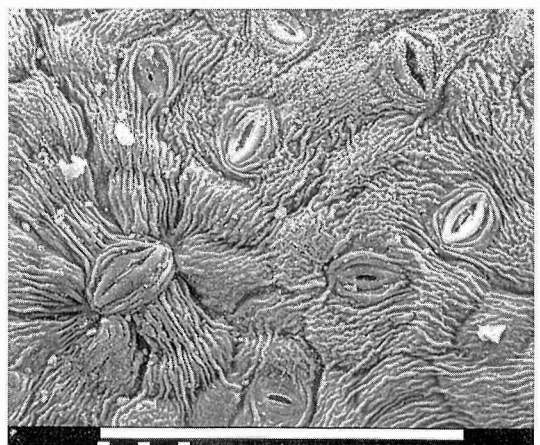


写真 18

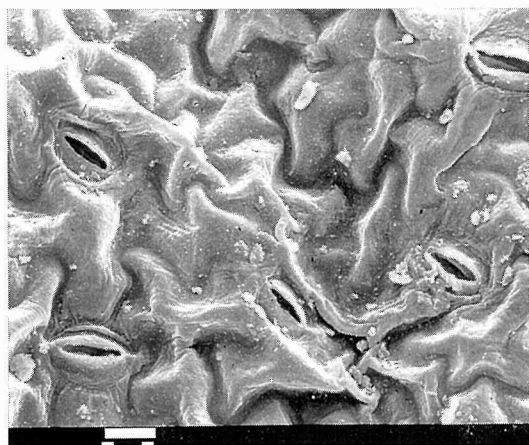


写真 19

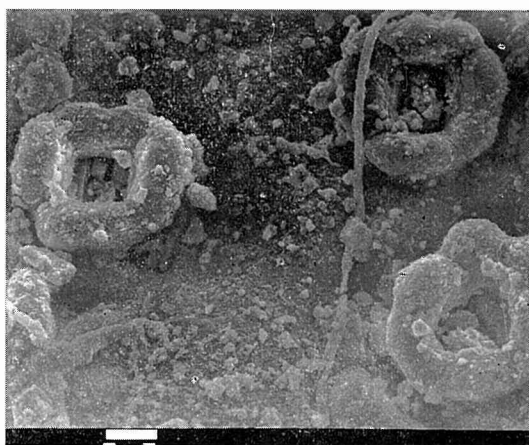


写真 20

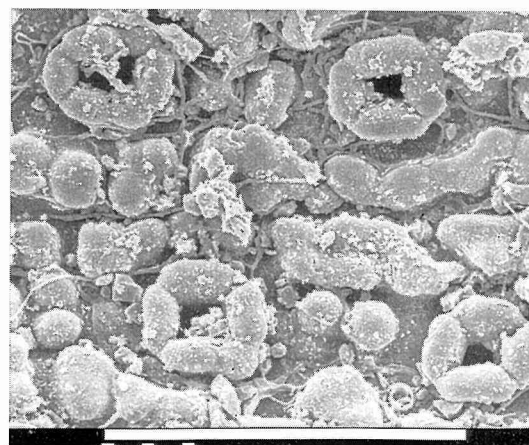


写真 21

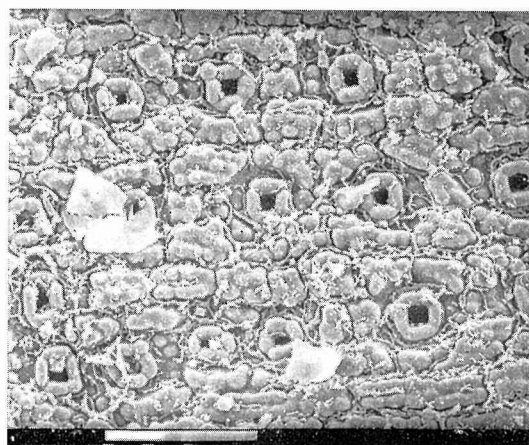


写真 22

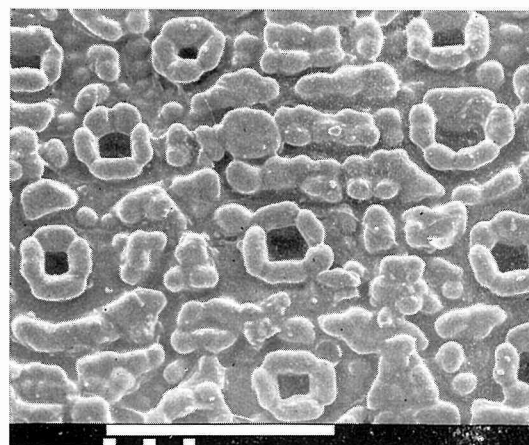


写真 23

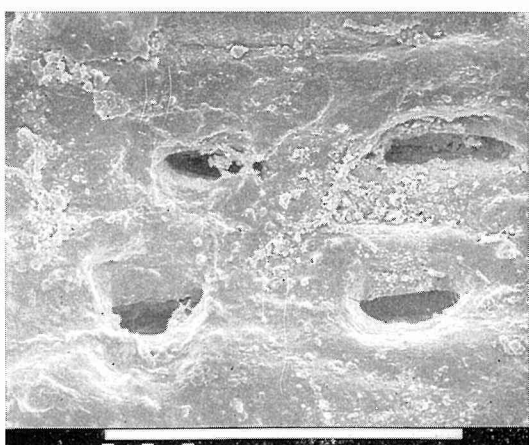


写真 24

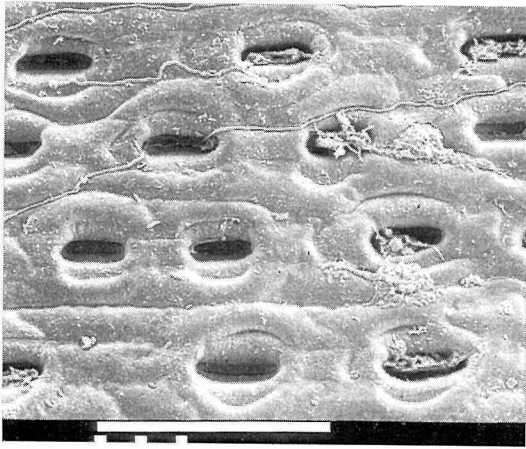


写真 25

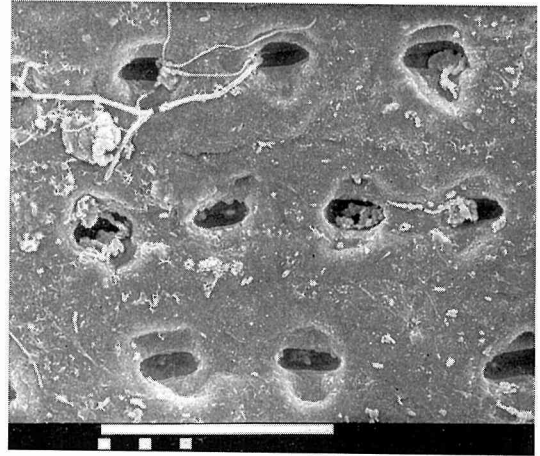


写真 26

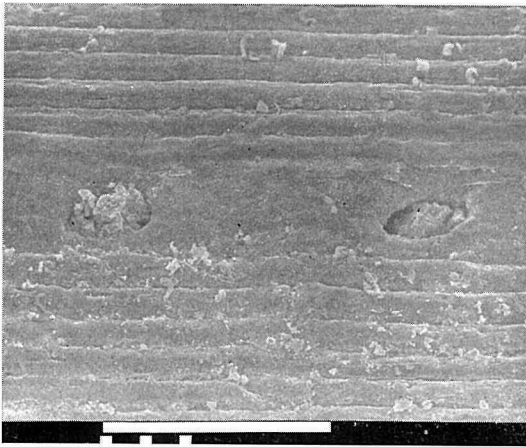


写真 27

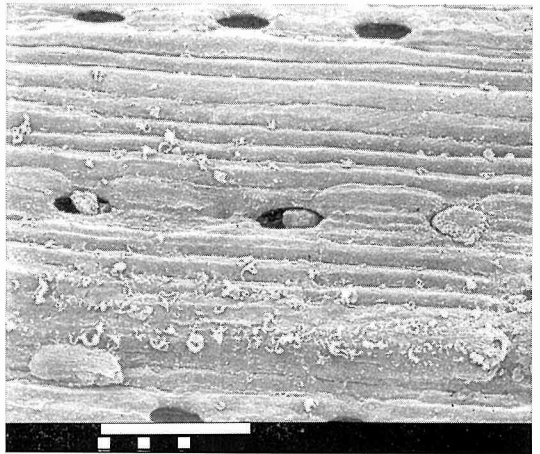


写真 28

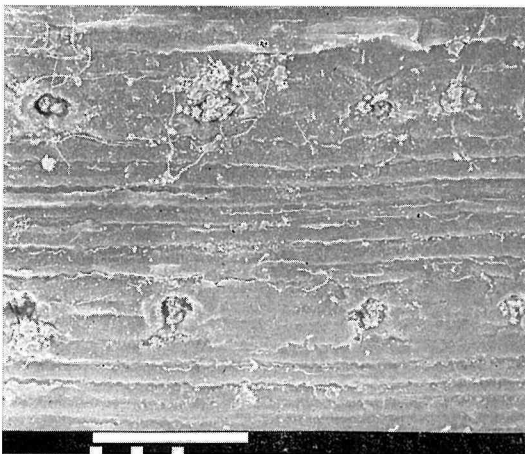


写真 29

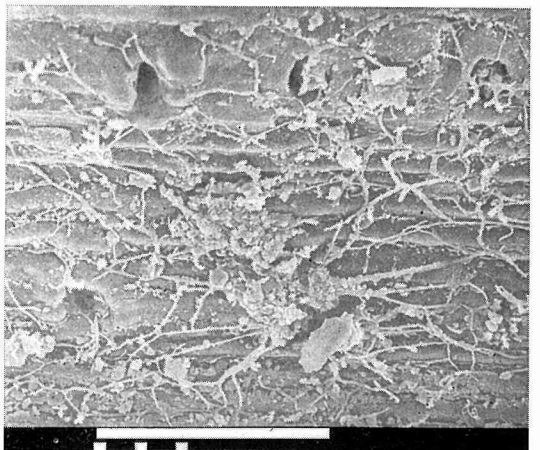


写真 30