

防風林による海塩微粒子の捕捉について*

栗原孝行** 末永昌久** 阿部友三郎**

要旨

海岸地帯における海塩微粒子の挙動は、そこに植林されている防風林によって大きな影響を受け、その要因の一つに防風林による粒子捕捉作用が考えられる。これをたしかめるため、防風林の内外において、海塩微粒子の大きさおよび濃度を測定した。その結果、防風林はその濃度に大きな影響をおよぼしており、特に林の造林密度が関与して、密度が大きくなると捕捉が多くなる。また防風林による粒子捕捉作用には、粒子の大きさの相違によって捕捉量が異なる選択性が見られた。この選択性は、防風林の規模、造林密度、これらの異なる林の組合せ、および樹木の種類などによって違いが見られると考えられる。しかし、防風林による空気の乱流拡散なども濃度の変化に影響をおよぼしていると考えられ、濃度の変化が防風林による粒子捕捉作用だけによるものとはいえない。

1. まえがき

海岸地帯における海塩微粒子の挙動は、海面において風と波の作用によって成生された海塩微粒子が内陸へ輸送されるさい、風の強さ、風の向き、乱流拡散、海岸からの距離、高度などによって影響を受ける。また、その挙動は、海塩微粒子を含んだ空気塊が地表物体の間を通り抜けるさい、地表物体による粒子捕捉作用によって影響を受ける。

一般に海岸地帯では、汀線とほぼ平行に松木を植林した防風林が設置されている。このことに着目して、適当な防風林を選び、林の内外に測定点(st.i)を定めて各点における海塩微粒子の大きさ(4μ以上)、および濃度(Gi)を測定した。(ただし文中のiはi=0, 1, 2, 3であり、st.iとGiとは対応する)。

なお、防風林による粒子捕捉作用は各点における濃度を比較することによって示せると考えたため、濃度を調べたのである。また、大きさを調べたのは、防風林による粒子捕捉作用が粒子の大きさの違いによって異なるのではないかと考えたためである。

これらのことを、防風林の形態、および規模ともに異なる2つの防風林について測定を行った。

2. 測定方法

2. 1. 測定点の設定

測定点の設定にさいしては、海塩微粒子が海上を流れ

てくる空気塊によって輸送されることと、防風林が汀線とほぼ平行に植林されていることを前提としているため、防風林に直交する直線を仮定し、この線に沿って汀線から内陸方向へ、st. 0からst. 3までの4つの測定点を定めた。すなわち、st. 0は濃度および粒度分布の基準とするため、防風林の影響が少ないと思われる汀線の近くに定めた。また、防風林の影響を調べるためには、防風林のほぼ中央にst. 2、防風林を挟むように、林に接した海側の点st. 1および陸側の点st. 3の各点を定めた。(第1, 2図を参照)

2. 2. 海塩微粒子の捕集および検出

海塩微粒子の捕集は回転サンプラー(約2,150rpm)を用いて行った。回転サンプラーとは、直流電源に接続されたモーターにアームを取り付けたもので、アームの先端にはFarlowの塩化物反応フィルムを取り付けて捕集するようにしたものである。

一方、海塩微粒子の検出はアームの先端に取り付けた塩化物反応フィルム(1×30mm)を用いて行った。このフィルムは付着した塩化物により化学反応を起すので、これを約70°Cの水蒸気の中に放置して処理すると独特の白いハローが生ずる。このハローを顕微鏡などで大きさや個数を読み取ることによって、海塩微粒子の大きさ、および個数を知ることができる。

3. 防風林の形態および測定点の位置

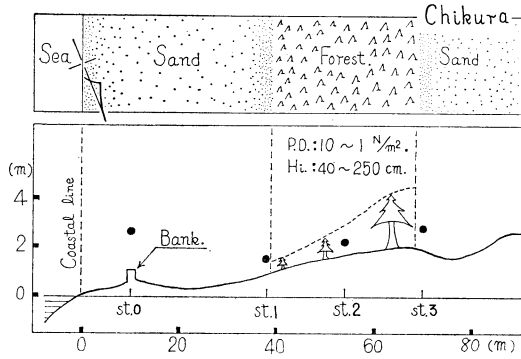
3. 1. 千葉県千倉海岸の造林形態

第1図は千倉海岸における防風林の形態、および周辺の地形の概略を示している。この防風林は汀線方向に約100mほど続いており、矩形をした比較的小きな規模

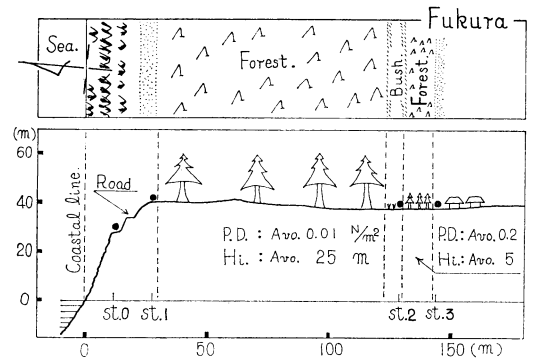
* The Capture of Sea-salt Particles by a Forest.

** T. Kurihara, M. Sucnaga and T. Abe. 東京理科大学理学部。

—1973年8月30日受理—



第1図 千倉海岸における測定点の略図.



第2図 吹浦海岸における測定点の略図.

の林となっている。林の造林密度は約10~1 (本/m²)で、海側では密となり、内陸へはいるにしたがって疎らになる造林形態である。なお、この防風林は、海側から内陸側へはいるにしたがって、連続的に、高さを増している。

一方、周辺の地形は、大地のほとんどが砂地となっており、海岸から内陸へと徐々に高くなる普通の砂浜である。林より内陸側の砂地には月見草の群落があり、林から5 mほどのところに自然にできた溝状の約1 mの窪みがある。海岸には、高さ、幅ともに約1 mの防波堤が汀線と平行に設置されており、周辺の地形に若干の変化を与えている。なお、汀線はSSW-NNE方向に伸びて太平洋に面している。汀線近くの海は、潮流の関係から、急に深くなっており、碎波は汀線に比較的近づいたとき起る。

測定点については、図に示す通りであるが、測器の高さは次のように定めた。st. 0は防風林の高さの中央となるように、防波堤の上1.5 mのところにとった。st. 1は海側の木が低いことから地上約40 cmの高さにとった。st. 2, st. 3の各点は地上約1 mの高さにとった。

3. 2. 山形県吹浦海岸の造林形態

第2図は吹浦海岸における防風林の形態および周辺の地形の概略を示している。この防風林は千倉海岸と異なり、防風林というよりむしろ林業用の林として植林されていると思われる大規模な林となっている。すなわち、汀線方向、内陸方向ともに連続して植林された、良く整頓された林となっている。また、この防風林の特徴は、海側に非常に疎らな林(造林密度約0.01本/m²)があり、陸側には比較的密な林(造林密度約0.2本/m²)があり、これらの2つの林が互に接して1つの防風林を形成していることである。

一方、周辺の地形は、千倉海岸と大きく異なり、砂浜が無く、海からすぐ切り立った岩壁となっており、林のあるところまで急な傾斜面が続いている。なお、汀線はE-W方向に伸びて日本海に面しているが、大きなスケールで見ると、観測地は凹状に窪んだ汀線の中ほどに位置している。汀線近くの海は急激に深くなっており、波が直接岩壁にあたり、碎波は大規模に起る。

測定点については、図に示す通りであるが、測器の高さは各点とも地上約1 mの高さにとって測定を行った。st. 0は地形上の制約から海抜約30 mの岩壁の中腹にとった。st. 1, st. 3の各点は防風林を挟むようにとり、st. 2は疎らな林と密な林が接する熊笹の中にとった。

4. 測定結果

4. 1. 観測地の観測状況

4. 1. 1. 千倉の場合

1972年7月8日にかけて測定を行った。風系については、海上を流れてくる空気塊によって海塩微粒子が輸送されることを前提としているため、防風林に対して直角にあたる風向の風を予定していたが、観測期間中、その風は吹かなかった。今回示してある結果は、風向がもっとも海寄りであった汀線となす角約23度(風向S)の風について示してある。ただし、風速8.5 m/s程度の風は比較的多い頻度で観測されたが、通常の風は4 m/s以下の風速であった。

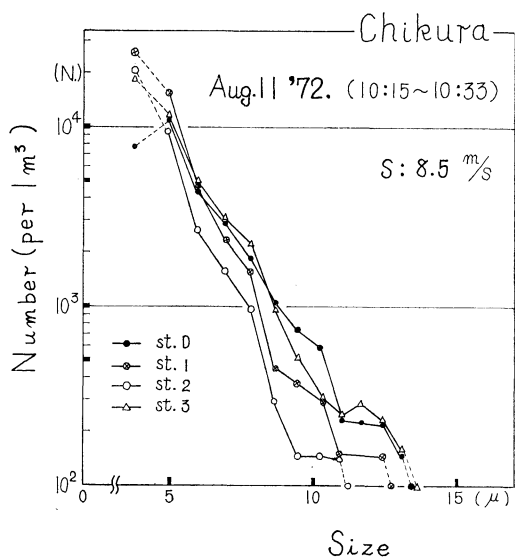
測定は、各点におけるサンプラーの回転時間を各々1分間として、各点を移動しながら測定を行った。このときの1循環する時間は約18分であった。

4. 1. 2. 吹浦の場合

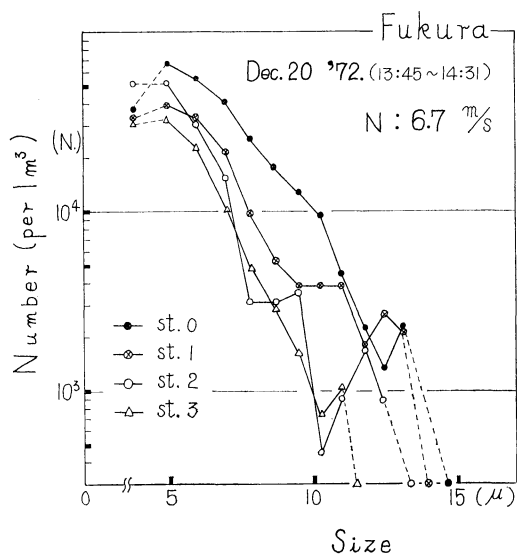
1972年12月に測定を行った。風系については、予定した風向の風(風向N)が吹いた。

しかし、地形が千倉海岸の場合と異なっていること

や、安定泡沫の発生があることから、海塩微粒子の濃度が相当大きいものと考えられたので、サンプラーの回転時間を短くすることも同時に行った。すなわち、回転時間を10秒、30秒、1分の3種類として、各点を移動しながら測定を行った。このときの1循する時間は約46分であった。なお、我々の測定の種類では、サンプラーの捕集量と回転時間との間には、正比例の関係があることは立証されている。



第3図 測定点における粒度分布(千倉)。



第4図 測定点における粒度分布(吹浦)。

4. 2. 海塩微粒子の粒度分布

第3図は千倉海岸における測定の結果を示している。縦軸には空気塊 1 m^3 中に含まれている海塩微粒子の個数を対数目盛にとり、横軸には海塩微粒子の大きさ、すなわち、海塩微粒子を NaCl の正立方体の結晶と考えて、その一辺の長さを等間隔目盛にとった。なお、 5μ 以下の粒子は読み取りのさい、不明瞭なものが多かったので、点線で示した。また、横軸近くの点線は、少ない個数となっているが、それ以下のところにも海塩微粒子が存在していると考えられるので点線で示した。

第4図は吹浦海岸における測定の結果を示している。両軸の取り方、図中の点線などについては、千倉の場合と同様である。

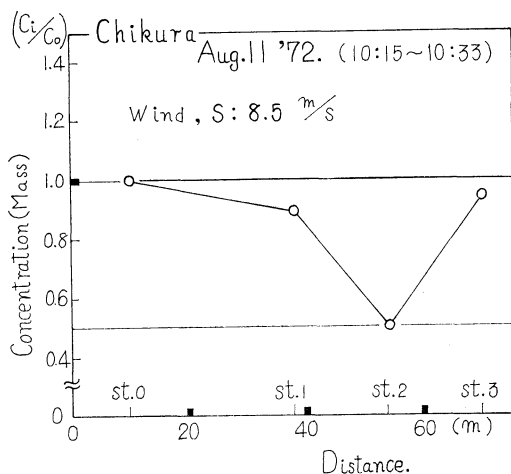
以上2つの結果を示している。以後、この結果を用いて解析したものである。

5. 質量濃度に与える影響について

5. 1. 千倉観測の場合

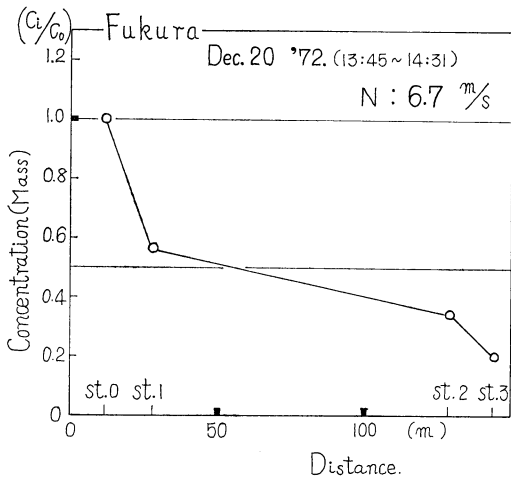
第5図は千倉海岸における測定の結果の質量濃度と距離との関係を示している。この図は、一見してわかるように、st. 0の質量濃度 (C_0) を1として他の測定点の濃度 (C_1, C_2, C_3) と比較できるように示してある。ただし、 $C_0 = 219 \times 10^{-7} \text{ g/m}^3$ であり、 C_i は空気塊 1 m^3 中に含まれている海塩微粒子の総質量である。

この図は防風林が質量濃度に与える影響の大きいことを示している。特に林の中央では極小値をとり、st. 0の約半分の量となっている。しかし、林をはさむ2点 (C_1 と C_3) ではほぼ等しく、 C_0 よりすこし少なくなっている。すなわち、このような比較的小規模で、密度の



第5図 測定点と質量濃度との関係(千倉)。

高い防風林の中央では、質量濃度が急激に減少していることを示している。防風林の影響は林の中だけに限られ、外側周辺では海塩微粒子がある一定した量で存在している。これは、林を越えて内陸へ流入する海塩微粒子の量が多いことを示している。しかし、空気塊の流れを詳しく観測していないので、防風林の外側周辺での風による乱流拡散がどのような状態にあるかはわかっていない。



第6図 測定点と質量濃度との関係(吹浦).

5. 2. 吹浦観測の場合

第6図は吹浦海岸における測定質量濃度と距離との関係を示している。この図も千倉観測の場合と同様に C_0 を1として示してある。なお、 $C_0=254 \times 10^{-6} \text{g/m}^3$ である。

この図は、疎らな林よりも密な林の影響が大きいことを示している。各点における質量濃度 (C_1, C_2, C_3) は C_0 より小さく、千倉の場合と異なって右さがりの減少曲線となり、極小値が無い。すなわち、防風林が質量濃度に与える影響は、林の造林密度によって左右され、疎らな林では小さく、密な林では大きいことを示している。また、千倉の場合とは異なって、防風林を越えて内陸へ流入する海塩微粒子の量は少なく、防風林の規模が海塩微粒子の流入を防ぐことに関与していることを示している。なお、st. 0 から st. 1 に到る質量濃度の急激な減少は、高度差や傾斜面などによるもので、防風林の影響ではないと考えた。

6. 海塩微粒子の大きさの違いによる粒子捕捉作用の相違について

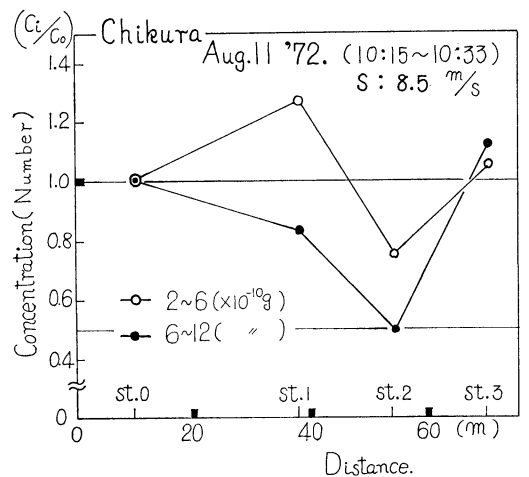
6. 1. 海塩微粒子の質量別の分類について

海塩微粒子には種々の大きさの粒子がある。ここでは、その中から2つの範囲にはいる粒子を対象にして解析を行った。

それは、鳥羽が、 $5 \times 10^{-10} \text{g}$ を上限として海塩微粒子の発生機構が異なっていると報告している説を参考にしている。実際には、読み取りの関係から、正確に $5 \times 10^{-10} \text{g}$ を境に分類することはできなかったため、 $6 \times 10^{-10} \text{g}$ を境に2つの集団に分類した。すなわち、小さな粒子の集団は $2 \sim 6 \times 10^{-10} \text{g}$ 、大きな粒子の集団は $6 \sim 12 \times 10^{-10} \text{g}$ として、各々の範囲にはいる粒子を2つの集団に分けて、各々の個数を求めた。ただし、この範囲以外の粒子を解析の対象から省いたのは、鳥羽の説に基づくものではなく、読み取りの関係からである。すなわち、 $2 \times 10^{-10} \text{g}$ 未満の粒子は、読み取りのさい不明瞭なものが多く、誤差を少なくするために省いたものである。また、 $13 \times 10^{-10} \text{g}$ 以上の粒子は、小さな粒子の集団と同様な範囲とするために省いた。本来なら、 $11 \times 10^{-10} \text{g}$ 以上を省くのが、最良である。このようにして、粒子を質量別に分類し、各測定における個数濃度(空気塊 1m^3 中に含まれている海塩微粒子の総個数)を求め、この質量別個数濃度を比較することによって、粒子の大きさの違いによる防風林の粒子捕捉作用の相違を調べた。

6. 2. 千倉観測の場合

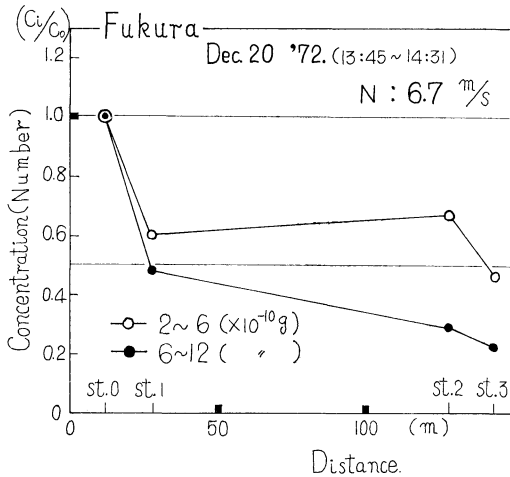
第7図は千倉海岸における測定質量別個数濃度と距離との関係を示している。この図は両者の曲線の間



第7図 測定点と質量別個数濃度との関係(千倉).

わめて顕著な相違があることを示している。すなわち、両者とも C_2 (st. 2 の濃度) では極小値となっているが、小さな粒子では、大きな粒子と異なって、極大値をもっている。また、この図を第5図と比較してみると、大きな粒子の曲線が第5図の曲線とほぼ同様な傾向になっていることがわかる。

以上により、この防風林が大きな粒子に対して比較的強く捕捉作用を行い、これに反して、極大値をもつような小さな粒子に対しては、捕捉作用の他に、別な要因が働らくものと考えられる。すなわち、比較的小規模で密な林の前では、吹きだまり的な効果があり、小さな粒子が増加するものと考えられる。また、林のうしろでも吹きだまり的な効果がある。すべての大きさの粒子に対して捕捉作用があるのは、林の中だけに限ってあると考えられる。



第8図 測定点と質量別個数濃度との関係(吹浦)。

6. 3. 吹浦観測の場合

第8図は吹浦海岸における測定した質量別個数濃度と距離との関係を示している。この図も千倉の場合と同様に、両者の間にきわめて顕著な相違があることを示している。すなわち、st. 1 から st. 2 に到る疎らな林では、小さな粒子が一定した個数濃度で存在しやや増加する傾向を示している。しかし、これに反して、大きな粒子はすみやかに減少している。また、st. 2 から st. 3 に到る密な林では、小さな粒子が急激に減少し、大きな粒子の減少する割合も大きくなっている。

以上により、疎らな林では、小さな粒子は減少と供給

が均衡状態に保たれているものと考えられる。また、海塩微粒子が密な林を通り抜けるさいの減少の割合は、大きな粒子よりも小さな粒子の方が大きくなっているが、これはその前の点 (st. 2) の濃度が大きいためであり、実際には、防風林による粒子捕捉作用は大きな粒子に対して比較的強く作用するものと考えられる。

7. 討論および結論

以上のことを総括的にまとめると、防風林による海塩微粒子の捕捉は、林が密になるにしたがって多くなり、特に大きな粒子に対して比較的強く作用するものと結論できる。

また、塩害防止対策の見地から見れば、防風林が内陸へ流入する海塩微粒子を防ぐという意味で、防風林の規模も重要な役割をはたしており、流入する量と規模との間に明確な関係があると言える。

しかし、海岸地帯における海塩微粒子の挙動が、防風林による粒子捕捉作用や防風林の規模だけの影響によるものと、単純に、結論することはできない。5, 6節などでも述べたが、濃度の変化に影響をおよぼす作用は、粒子捕捉作用の他にもあると考えられる。すなわち、防風林による濃度の変化は、海塩微粒子を含んだ空気塊の流れが防風林によって乱流拡散されることによって大きな影響を受けると考えられる。それに、防風林の上面(空気塊がもっとも多く接するところ)での海塩微粒子の出入りがわかっておらず、防風林の内部で捕捉作用だけがあるとは考えられない。

その上に、濃度を左右するものとして、防風林の内部においての粒子の自由落下が考えられる。すなわち、吹浦海岸における海側の林のような疎らな林の内部では、空気塊の移動が少ないにもかかわらず、大きな粒子の減少が比較的多く、大きな粒子はかなりの量が自由落下により減少するものと考えられる。

すなわち、空気塊の乱流拡散や粒子の自由落下によっても、濃度の変化は大きな影響を受けていると考えられる。

しかし、これらの物理現象が、濃度へ影響をおよぼしているにしても、防風林の存在自体がそれらの現象を引き起す基礎となっていることから考えて、次のことがいえる。防風林の造林密度・規模・造林密度および規模とも異なる林の組合せ・樹木の種類・などの間に、濃度を左右する一定の関係があるものと考えられる。

今後は、これらを確かめるために、防風林の内外における空気塊の流れを詳しく調べることで、測定点の吟味な

ど、さらに改善して、測定を積み重ねることが望まれる。これらの研究が発展することによって、塩害防止対策や沿岸気象に必ず役立つものと思う。

8. 謝 辞

この研究を遂行するにあたり、常に助言と援助をいただいた阿部豊雄氏はじめ東京理科大学の阿部研究室員に感謝の意を表します。また、観測にあたり、施設を接供して下さった東京学芸大学附属世田谷小学校氏に深く謝意を表します。また研究をまとめるにあたって、有益な助言とご指導をいただいた気象庁の半沢正男氏（現在宮崎地方気象台長）に深く謝意を表します。

文 献

- 阿部友三郎, 1972: 海の泡と災害, 気象, pp. 3229-3231.
- 阿部友三郎, 1973: 海水泡沫および海塩粒子の挙動と塩害, 表面処理ジャーナル第6巻第2号, pp. 12-20.
- 田中正昭, 1971: 塩害に関する基礎研究(第5報) — 海岸近くにおける強風時の海塩粒子の分布 —, 京都大学防災研究所年報第14号, pp. 499-510.
- 電気協同研究: 海塩粒子の発生と附着, 塩害と気象第20巻第3号, pp. 5-28.
- 鳥羽良明, 1996: 海塩粒子—大気と海洋との相互作用の一要素として—, 海と空第41巻第3, 4号, pp. 71-118.
- 中山道夫, 1968: 製塩工業の動向, 化学工業6月号, pp. 17-27.
- 浜 昊一, 高木 昇, 1970: Measurement of Sea-salt particles on the Coast under Moderate Winds, 気象研究所研究報告第21巻第4号, pp. 449-458.
- Farlow, N.H. 1957: A Method for Measuring Water Content of Airborne Sea-salt Particles, Journal of Meteorology vol. 15, pp. 228-230.
- Blanchard, D.C. and L. Syzdek, 1972: Variations in Aitken and Giant Nuclei in Marine Air, Journal of Physical Oceanography vol. 2 no. 3, pp. 255-262.

1974年第6回レーザー・レーダー国際会議

期 日: 1974年9月3日～6日
場 所: 仙台市桜ヶ岡公園4-1号
仙台市民会館
主 催: 1974年レーザー・レーダー国際会議組織委員会
共 催: 東北大学電気通信研究所
東北大学理学部超高層物理学研究施設

講演締切: 1974年4月1日までに英文アブストラクト提出のこと
申込および連絡先: 〒980 仙台市片平2丁目1-1
東北大学電気通信研究所
稲 葉 文 男
0222-27-6200 内線3425

天気編集委員会からのお知らせ

最近別刷の配布について、トラブルが多く、会員の方々に御迷惑をかけています。当委員会では、今後この種の問題が起らないよう、印刷を請負っている三報社に注意を喚起するとともに、投稿原稿には所定の送り状をつけることにいたしました。会員の御協力をお願いします。なお別刷は従来、多分に印刷所のサービスに負う習慣が続いて参りましたが、最近の用紙の異常な値上りや印刷費の上昇などにより、近く別刷の価格を改訂せざるを得ない状況となりました。本誌掲載の論文・短報・解

説・総合報告・シンポジウム記事については従来どうり無償で別刷30部を差上げることにいたしますが、表紙はつけないことにします。(表紙をつける場合は有料となります)これは表紙の印刷と製本を、新たに製本業者に発注するために、かなりの経費を支払わなければならないからです。なお、最近、本誌の配布が紙不足や印刷所の都合でおくれて御迷惑をかけたことが、今後は順調に発行される見込です。