

# フェーンによる水稻の白穂被害の発生機構

誌名	北陸農業試験場報告 = Bulletin of the Hokuriku Agricultural Experiment Station
ISSN	04393600
著者名	村松,謙生
発行元	農林省北陸農業試験場
巻/号	30号
掲載ページ	p. 131-148
発行年月	1989年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## フェーンによる水稻の白穂被害の発生機構

村松謙生<sup>(1)</sup>

### 要 旨

本報は北陸地域の代表的な気象災害である水稻のフェーン害を対象にして、被害が発生するときの稲体内の水ストレスの実態と、昼・夜のフェーン処理で生ずる水ストレスの差異に関する実験結果を白穂被害の発生機構としてとりまとめたものである。フェーンによって発生する水稻の白穂被害は出穂直後にフェーンに遭遇したときに発生するが、昼間のフェーンに遭遇した場合に比較して夜間のフェーンに遭遇した場合に被害が増大する。この原因を稲体の水ストレスで比較すると特徴的な差が認められた。すなわち、夜間のフェーン処理では蒸散量の増加に対して吸水量が追いつかず稲体の水ストレスが増加するのに対して、昼間のフェーン処理では蒸散量が増加するとそれに追従して吸水量が増加することが明らかになった。しかし、夜間でもフェーンの処理時間を長くすると徐々に吸水量は多くなりその後は被害の進展が少なくなったり停止する。

また、昼間でも降雨の後にフェーンに遭遇して白穂被害が発生する場合もあるが、この原因についても稲体の水ストレスが高まるためであることが分かった。

### 目 次

I. 緒 言	131
II. 白穂被害発生時の稲体水ストレス	132
1. 実験材料及びフェーンの処理方法	132
2. 水ストレスの測定方法	133
3. 実験結果	133
4. 考 察	137
III. 稲体内の水ストレスの発生差異	139
1. 実験材料及び実験方法	139
2. 実験結果	140
3. 考 察	143
IV. 摘 要	146
引用文献	146
英文摘要	147

### I. 緒 言

北陸地域の代表的な稲作気象災害に、出穂期直後に発生するフェーン害がある。特に近年では田植作業の機械化が進み、短期間に一斉に田植作業が行われたり、作付けされる水稻の品種が数品種の銘柄米品種に集約されていることなどによって出穂する時期が集中化しているため、一度フェーンに遭遇すると被害量が増大する傾向にある。さらにまた、米に対する社会的な情勢が量より質を重視する傾向にある今日、フェーンに遭遇したことによって多く発生する米質の悪化は、従来にも増して深刻な問題である。

このように、地域的に極めて重要な課題である水稻のフェーン害を少しでも軽減させることを目的にして1972年度から実験を行ってきた。この間、北陸地域におけるフェーンの発生状況やその農業気象的な特徴を明らかにするとともに<sup>4,5)</sup>、フェーンによって発生する水稻の被害を風洞の中で再現させ、被害の発生するときの気象条件や被害量を左右する栽培条件、さらに、フェーンに遭遇している水稻の体内の水分状態の変化などについて明らかにしてきた<sup>7,8)</sup>。しかし、前報<sup>8)</sup>でも述べているように水稻のフェーン害の発生解析の中で最も基本的な課題である

「昼間のフェーン処理に比較して夜間のフェーン処理で白穂被害の増大する原因」については明らかにすることができなかった。すなわち、フェーンに遭遇している水稻は、気孔や水孔、さらに稲体の各部位からの多大な蒸散により体内の水ストレスが増大することによって発生する被害である<sup>6)</sup>が、気孔が閉じて蒸散量の少ないはずの夜間に被害が発生しやすい原因の究明である。そこで、この点を解明する目的で再度これまでの実験データを見直すとともに、吸水量や稲体の通水量に関する実験を行った結果、その一端を明らかにすることができたので報告する。しかしながら、さらに解明しなければならぬ課題もまだ多く残っているが、ここではそれらを残された問題点として整理した。

水稻のフェーン害は気象災害である。しかし、その発生解析を進めてみると、単に農業気象部門だけの問題ではなく、水分生理あるいは器官形成、栽培、土壌や施肥条件、品種、さらに着色病の発生には病理の分野にと、多くの専門分野に関連した知識や実験手法が必要であった。

## II. 白穂被害発生時の稲体水ストレス

前報<sup>6)</sup>では風洞を用いたフェーン害の再現試験、あるいは水田においてフェーンに遭遇している水稻の蒸散量や、穂や止葉など稲体の各部位別の水ストレスの特徴などについて明らかにしてきた。また、浸潤法によって測定した葉身の気孔開度の追跡調査や蒸散抵抗計 (Cambda社製) で測定した葉身の気孔からの蒸散抵抗の経時的な変化、フェーン処理した水稻の葉身の走査型電子顕微鏡による観察結果などから、夜間のフェーン条件下においても一時的に気孔が開孔し、蒸散が促進されることを明らかにした<sup>6)</sup>。さらに、プレッシャーチャンバー (DIK社製) を用いて、白化被害穎花の発生するときの稲体の水分状態を測定した結果、穂の抽出程度によっても異なるが、おおむね $-9 \sim -10$ bars以下の水ストレスになると白穂を含む被害が発生していることなどについて明らかにしてきた。

また、プレッシャーチャンバー法による稲体水分の測定結果では、夜間にフェーン処理 (暗処理区) を行った水稻と、昼間のフェーン処理 (明処理区)

の稲体の水分状態には、水ストレスの発生に差のあることを確認していた。しかし、その差はフェーンの処理を行う前の水稻の水分状態によって異なること、プレッシャーチャンバー法によって測定した水分状態は、穂首付近の稈や止葉の葉舌付近で測定する導管の負圧 (以後では木部水ポテンシャルとする) であり、直接被害の発生する穎花の水分状態とは異なることが推測された。そこで、これらの一連の測定の外にサイクロメーター (Wescor社製) を用いて、葉身や穎花の水分状態を同時に測定した結果、昼・夜それぞれの処理について稲体の水ストレスの差異を明確にすることができた。本報で述べる主な実験結果は1981~84年に行ったものである。

## 1. 実験材料及びフェーンの処理方法

### 1) 供試品種ならびにその栽培方法

供試した水稻はコシヒカリ・トドロキワセなどであり、実験期間を長くするために出穂時期の異なる5品種を用いた。特にコシヒカリについては播種する時期を数段階に分けて行い8月初旬から中旬まではいつでも実験ができるように準備した。栽培は $1/5,000$  aワグナルポットに2株植え (1株2本植え) とし、それまで水耕栽培で育苗しておいた3~3.5葉苗を5月中旬に移植した。施肥量は基肥にポット当たり窒素、りん酸、加里各0.9gを複合肥料で、穂肥は中生種を対象にその幼穂形成始期に窒素0.8gを硫酸で施用した。

実験は出穂始めから出穂期後7日前後の白穂被害の発生しやすい期間に行ったが、早生種の数品種でまず実験を行い、最終的な成績はできるだけコシヒカリの結果を示すようにした。

### 2) フェーンの処理方法

実験に使用した風洞はゲッチンゲン型の小型風洞である。その構造や仕様は既報<sup>7)</sup>のとおりである。フェーンの処理は昼夜行った。また、昼間の実験であっても水稻の体内水分が夜間のそれに類似している材料をフェーン処理するために実験前日の17時前後から相対湿度がほぼ100%に近い暗室に入れておき、この材料を実験当日の9時前後から暗条件でフェーン処理を行った。明条件の処理は屋外にあったポットをそのまま風洞に搬入した。これらの材料は

いずれの場合もあらかじめフェーンの条件を整えておいた風洞の中へ搬入した。風洞の中のフェーン条件は実験を開始するときに供試する水稲の置かれている場所の気象条件を基準に設定し、温度はそれより4～5℃高温、湿度は約30%減とした。風速は約7.5 m/secの定条件である。なお、このようなフェーンの処理条件は実際のフェーン日の気象観測の結果に基づいて設定したものである<sup>5)</sup>。

## 2. 水稲の体内水分の測定法

### 1) 気孔開度及び葉身の蒸散抵抗の測定

葉身の気孔開度については浸潤法で行った。葉身の蒸散抵抗については蒸散抵抗計で測定した。浸潤液の組成・測定個所・測定方法などは前報<sup>8)</sup>のとおりである。

### 2) 木部の水ポテンシャルの測定

木部の水ポテンシャル(導管の負圧)はプレッシャーチャンバーを用いて測定した。測定は葉や穂など稲体の各部位について行ったが、葉身の場合には葉身全体をチャンバーの中に入れ葉鞘の切り口を外に出して測定した。穂については穂首節の下で切断し、穂首節の上の穂全体をチャンバーの中に入れて測定した。チャンバーの外に出ている部分の長さはいずれも5 mm前後であり、チャンバー内への加圧速度は約0.3 bars/sec程度である。材料を切り取ってからチャンバーの中へ密閉にし、圧力をかけ始めるまでに要した時間は5秒以内であった。

### 3) 葉身あるいは穎花の水ポテンシャルの測定

葉身や穎花の水ポテンシャル(本報では膨圧と浸透圧の差と定義する。従って、浸透圧-膨圧=細胞の吸水力=水ポテンシャルとなり、マイナスで表示した。)の測定はサイクロメーターを用いて次のようにして測定した。

サイクロメーターによる水ポテンシャルの測定方法は、測定する葉身など稲体の一部分を切り出して直径が約5 mm、深さが0.5～3 mm程度のサンプルホルダーの中に密閉に収納し、この検体とサンプルホルダーの中の空気の水蒸気圧が平衡状態になったときに、その水蒸気圧を測定して検体とした稲体の水ポテンシャルを求めるものである。

フェーンの処理中の稲体は測定する部分によって水分状態が異なる。しかも切り出す検体が小さいこ

ともあって、稲体のどの部分を測定するかが問題になる。このため既報<sup>9)</sup>のような水稲のフェーン被害の進展状況に関する調査が必要となった。この調査結果に基づいて株内においては出穂日がほぼ平均的な稈を選ぶとともに、穎花については劣勢穎花に早く被害が発生することから、穂の中央付近に着生している二次枝梗の先端穎花を対象にして測定した。サンプルホルダーの容積が小さいために、1穎花をそのまま収納することができない。1穎花の中では最も被害の発生しやすい<sup>9)</sup>穎花の先端部分を切りとって測定した。

さらに、稲体の切り出しに際しては、屋外にある水稲を測定する場合は日向かい側の葉身や穎花とし、フェーン処理中の水稲の測定には風上側の葉身や穎花を測定するように注意した。リーフパンチによる葉身の切り抜き、あるいは穎花を切り取ってからサンプルホルダーに収納するまでの所要時間は5秒以内であった。また、サンプルホルダーに収納した検体とホルダー内の空気の水蒸気圧が平衡状態になるまでに要した時間は2～3時間であり、水ストレスの大きい検体ほど長い時間を必要とした。このため一つの検体の測定は3時間とした。

## 3. 実験結果

フェーン処理あるいは実際にフェーンに遭遇している水稲は、フェーンの強さは無論のこと、処理する時期や栽培方法によって被害程度やその様相が異なる。しかし、ここでは直接減収に結びつく白穂被害を対象にして、昼・夜それぞれの条件下においてフェーン処理した水稲の体内水ストレスの差異について明らかにする。なお、ここで白穂と白化穎花については次のように規定した。

フェーンによる被害の最も顕著な被害は白穂被害であり、その甚だしい場合は第1図のように穂は枯死して収穫皆無となる。しかし、このような甚だしい被害でも最初は第2図のように外穎の芒の基部付近から発生することの多い一部の白化被害である<sup>9)</sup>。従って、フェーン害といってもフェーンの強さや遭遇時間などによって、被害程度の異なる穂が存在することになる。そこで本報においては観察により数個の穎花に白化被害が発生したときを被害の発生したときとし、1穂中のおおよそ80%以上の穎花が白

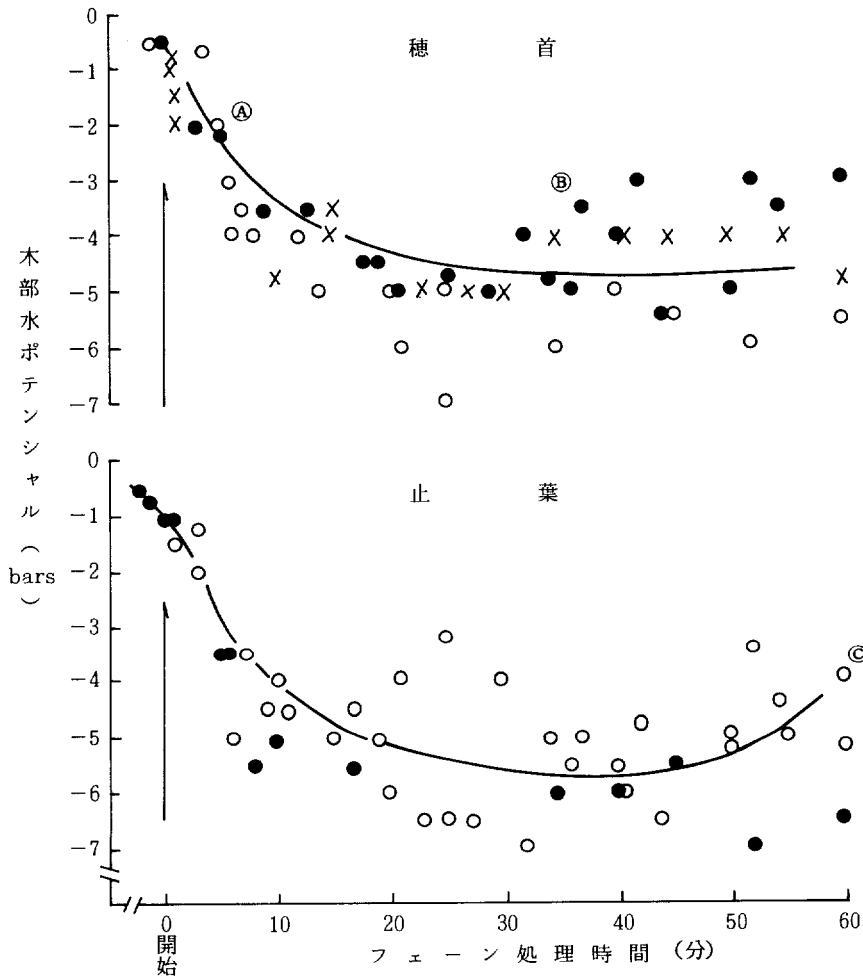
化した穂を白穂とした。なお、この判断は前報<sup>5)</sup>と同様である。

### 1) 暗条件でフェーン処理した稲体の水分変化

夜間にフェーンに遭遇したことを想定して行った暗処理区の木部水ポテンシャルの経時変化を第3図に示した。常態における夜間の稲体の水分はほぼ飽和状態にあり、プレッシャーチャンバー法で測定される木部の水ポテンシャルは0~-0.5 bars (0 barsに近い値とみられるが加圧することにより-0.3~-0.5 barsの値となる。)の高い水準で安定している。このような水分状態にある水稻をフェーン処理すると、木部の水ポテンシャルは第3図の㉑のよ

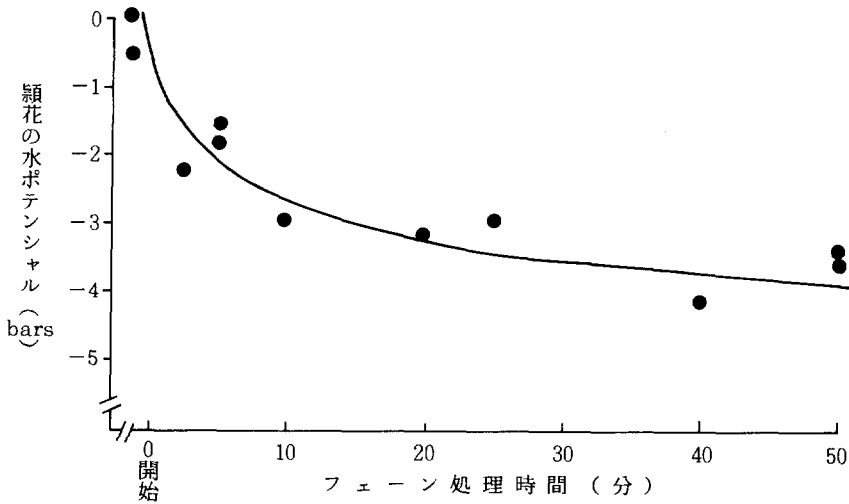
うに初め急激に低下する。同図は数回の実験結果を1枚の図に整理したものであり、いずれの実験でも同様な変化が認められた。フェーン処理を開始した後7~10分で一部の穎花に白化被害が発生した。その後時間の経過とともに水ポテンシャルの低下する度合は図の㉒のように徐々に小さくなる。また、さらに処理を継続すると同図㉓のように水ストレスが緩和される傾向を示すようになる。

第4図はこの過程をサイクロメーターで測定した穎花の水分状態で示したものである。外穎の水ポテンシャルも第3図に示した木部水ポテンシャルと同様な経過を示した。



第3図 夜間にフェーン処理した水稻の木部水ポテンシャルの変化(1982. 8, コシヒカリ)

(注) ○・●・×は実験した回数を示す。



第4図 夜間にフェーン処理した穎花の水ポテンシャルの変化 (1982. 8, コシヒカリ)

## 2) 明条件下でフェーン処理した水稲の稲体水分変化

第5図及び第6図は屋外で栽培しておいた水稲をそのまま明条件下(窓越しの自然光)でフェーン処理を行った場合の木部と穎花の水ポテンシャルの変化を示したものである。屋外に置いた水稲の体内水分は、日変化を反映した値を示す。図の例は処理する前に穂首付近の稈で測定した穂の木部水ポテンシャルで $-3$  bars前後、止葉のそれは $-6$  bars前後であった。また、外穎で測定した穎花の水ポテンシャルは $-3.5$  bars前後であった。このような水稲にフェーン処理を行った結果、穂首付近の木部ポテンシャルは約5分の処理で $-4 \sim -5$  bars前後まで低下した。しかし、その後は徐々に回復し20分後には $-3$  bars前後となり、以後はほぼ一定の値で経過した。止葉の木部水ポテンシャルも同様な傾向を示し、フェーン処理の開始後5分前後から徐々に高くなり20分後では $-3.5 \sim -4.0$  barsとなった。外穎の水ポテンシャルも木部水ポテンシャルと全く同様な変化を示し、15~20分経過すると $-2$  bars前後まで回復した。

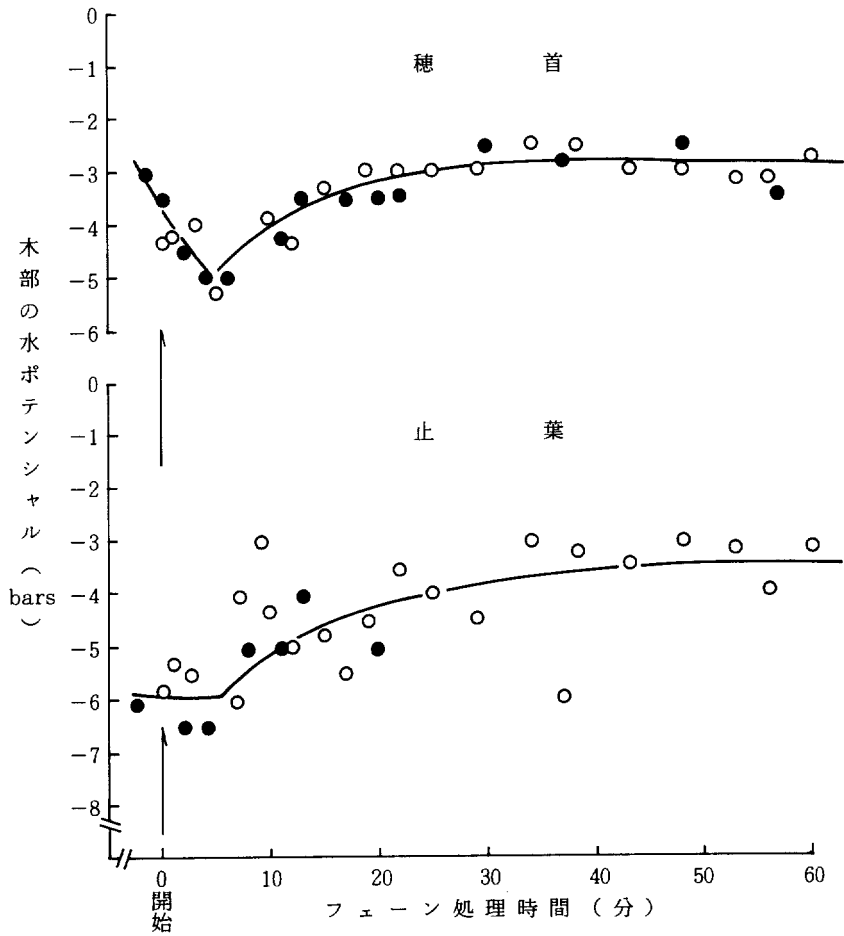
以上のように、明・暗それぞれの条件下でフェーン処理した水稲の体内水分の経時変化は全く異なった傾向を示すことが明らかになった。

## 3) 降雨日において明処理した水稲の体内水分変化

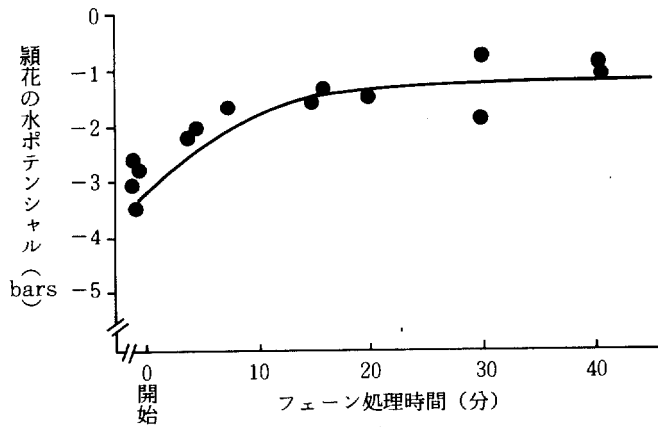
前項までの実験結果から、同じ生育段階でフェーン処理するときの温度や湿度・風速がほぼ同一の条件であっても、処理中の明・暗条件とフェーン処理を開始するときの水分状態が異なることによってフェーン処理中の稲体の水分が異なった傾向を示すことが分った。そこで次に降雨日に明条件下でフェーン処理を行った。すなわち、稲体の水分状態は夜間のそれに類似している水稲を明るい条件でフェーン処理を行ったことになる。

第7図はこのような条件でフェーン処理した水稲の外穎の水ポテンシャルの経時変化を示したものである。まず、フェーン処理を始める前の水分状態であるが、直接雨の当たらない軒下にポットを置いたために $0 \sim -0.5$  barsであった。この水稲をフェーン処理した結果、第4図に示した穎花の暗処理区の例のように徐々に水ストレスが増加し、フェーン処理の開始後30分で $-3$  bars前後にまで水ポテンシャルは低下した。この処理の場合、処理の開始後約20分で一部の穎花に点状の白化被害が発生した。

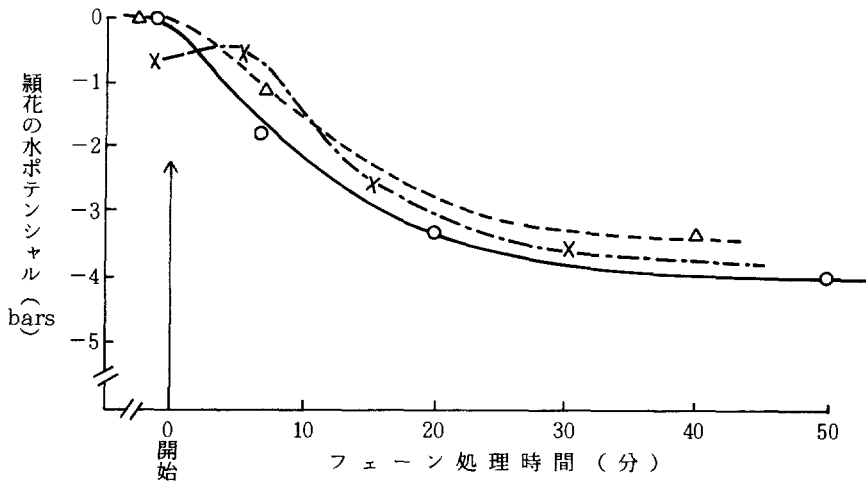
以上により、降雨日の明条件下においてフェーン処理した水稲の体内水分は、暗条件下においてフェーン処理した場合と類似した体内水分変化を示し、白化被害の発生することが明らかになった。



第5図 昼間にフェーン処理した水稻の木部水ポテンシヤルの変化 (1982. 8, コシヒカリ)  
注) ○・●は実験した回数を示す。



第6図 昼間にフェーン処理した水稻の穎花の水ポテンシヤルの変化 (1982. 8, コシヒカリ)



第7図 降雨日の昼間にフェーン処理した水稻の穎花の水ポテンシャルの変化 (1982. 8)

注) ○・×・△は実験した回数を示す。

#### 4. 考 察

フェーンによる水稻の被害は種々の様相を呈するが<sup>7)</sup>、それらはいずれも稲体の水ストレスが増大することによって発生する被害である。ここでは白穂被害の発生機構を稲体の水ストレスの面から実験的に追究した結果を基にして若干の考察を行った。

稲体をはじめ植物体の水分状態の測定方法についてはこれまでに多くの報告がなされているが、ここではプレッシャーチャンバー法による稲体の木部水ポテンシャルの測定と、サイクロメーターによる細胞レベルの水ポテンシャルの測定について考えてみる。

周知のようにプレッシャーチャンバー法は導管内の負圧の測定値から稲体の水ポテンシャルを求める方法である。すなわち、導管内の負圧の測定値から細胞レベルの水ポテンシャルを知ることができるのは、木部水ポテンシャルと細胞レベルの水ポテンシャルが平衡状態にあるということを前提に置いているからである。ところが、平沢ら<sup>1)</sup>はこの前提条件の成立しない事例のあることを明らかにした。そこで実際の測定に入る前にフェーン処理中の水稻の場合を明確しておくため、プレッシャーチャンバーとサイクロメーターを用いて葉身で両者の比較測定を行った結果、平沢ら<sup>1)</sup>の測定結果とほぼ同傾向で

あり、フェーン処理中のように水ストレスの大きい条件下にある水稻についてはプレッシャーチャンバーによる測定値とサイクロメーターによって測定する値は一致しないことが分った。従って、本報では測器の違いによって生ずる測定値の違いによる混乱を防ぐため木部水ポテンシャルについてはプレッシャーチャンバー法による測定結果を示し、プレッシャーチャンバー法では測定できない穎花の水ポテンシャルについてはサイクロメーターによる測定値を示した。

##### 1) 暗条件でフェーン処理した水稻の水ストレス

第3図に示したように、暗条件下あるいは夜間で体内水分がほぼ飽和状態にある水稻をフェーン処理すると気孔が閉じているにもかかわらず、なぜ水ストレスが発生するのかその原因が不明確であった。これまでの実験結果から葉身の水孔などからの蒸散が大きい可能性があること<sup>8)</sup>、暗条件下のフェーン処理では一時的に気孔が開きこの気孔からも蒸散していること<sup>6)</sup>、さらに、これまでに明らかにされている芒や穂首部位以外にも水孔に類する組織が存在し、そこからも蒸散が行われている可能性が高いこと<sup>9)</sup>、などが実験的に明らかになり、これらの組織からの蒸散(水分収奪)によるものと推測してきた。その後これらの点をさらに実証するために2、3の実験を行ってきたが、特にその可能性を証明できる



ような新しい結果は得られなかった。しかし、被害が発生する穎花の水ポテンシャルも同時に測定してみると、木部水ポテンシャルと同傾向に変化して白化穎花が発生したことから、夜間で稲体の水分状態がほぼ飽和に達している水稻がフェーンに遭遇した場合の水ストレスの変化がより明確になった。

前報<sup>3)</sup>においてはフェーン処理により外観的な被害が発現するときの木部水ポテンシャルは-9~-10barsであったと報告した。その後の実験ではさらに1穂ずつ詳細に調べてみると-5~-6bars前後から部分的な白化の始まる穎花のあることが明らかになった。しかし、それは一部の穎花であり、この穎花の水分状態については明確にできなかった。

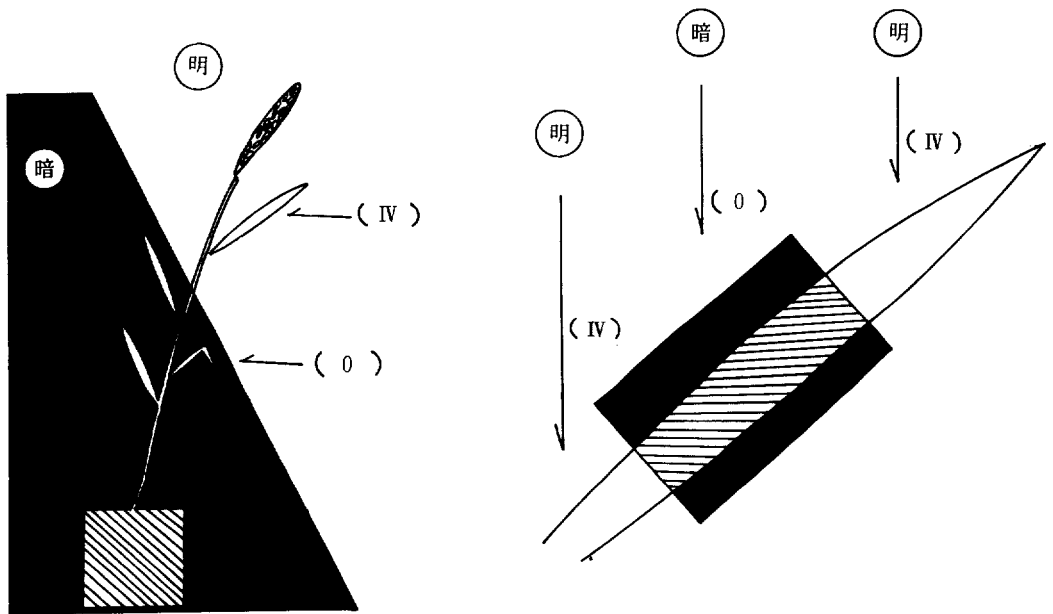
論ずるまでもなく、水ストレスの発生は組織への水の補給と蒸散の両面から考察を行うべきである。吸水や稲体内における水の通水量など水の供給については後述する。

2) 明条件でフェーン処理した水稻の水ストレス

屋外で栽培していた水稻を昼間にそのまま明るい条件でフェーン処理した場合、白化穎花や白穂被害が発生しにくいことはこれまでの実験の結果から明らかにしてきた<sup>5)</sup>。しかし、水稻の木部水ポテンシ

ャルの経時的な変化を数多く測定した結果、暗条件下のフェーン処理に比較してその変化が複雑であることが分ってきた。すなわち、フェーン処理を開始するときの水ポテンシャルが高い場合には、夜間の暗条件におけるフェーン処理の場合と同様に急激に水ストレスが増大するのに対して、第5図に示したように、既に水ストレスが課せられている水稻をフェーン処理すると、一時的には水ストレスが増加する傾向を示すもののその後は徐々に緩和され、フェーンの処理を行う前の水分状態かあるいはそれ以上になる場合も認められた。穎花の水ポテンシャルの変化も同様な傾向にあり(第6図参照)、フェーン処理を行うことによって水ストレスが減少する実験事例もあった。今回の実験からそれぞれの事例にはフェーン処理を開始するときの稲体の水分状態が大きく影響していることが明らかになった。このような水分変化を示す限り昼間のフェーン処理やフェーン遭遇では白穂や白化穎花の発生しにくい原因が容易に理解することができる。

次に環境条件と気孔開度に関する実験結果から昼間のフェーン処理の水分変化について若干の考察を行う。1本の茎に着生しているそれぞれの葉身を対



第8図 稲体をとりにくく明暗条件と気孔開度の差異 (1983. 8)

注) ( ) 内数字は浸潤法による気孔開度。

象にした場合、測定する部位や着生している葉位によって気孔開度や水ストレスの程度が異なる場合があった。すなわち、第8図は1本の茎あるいは1枚の葉身を例に明・暗それぞれの条件と気孔の開度の関係を測定したときの実験方法と気孔開度の測定結果を模式的に示したものである。まず、図のようにして止葉と穂だけを外に出して他の部位は前日の夕方から暗条件にしておき、翌日の9時前後に各部位の気孔開度を調査すると、外に出ている部分の気孔は開いているが、暗条件にある他の部位の気孔は全く開いていない。また、1枚の葉身の一部を暗条件とし、他の大部分を明条件にしても、やはり暗条件にある一部分の気孔は閉じたままであった。このようなことから、葉身の気孔開度に反映する水分状態はその部分の周囲の環境条件によって左右され、かなり独立的なものであることが推測される。これは測定場所の選定には細心の注意を払ったつもりであっても、気孔の閉じた状態から出発する暗条件下におけるフェーン処理に比較し、昼間に明条件下でフェーン処理を行った水稻の水ポテンシャルが、複雑な変化を示した原因になっていたことが推測される。しかし、明・暗それぞれのフェーン処理区とも水孔からの蒸散はそのまま残っているはずである。また、どの程度の水ストレスがフェーン処理中の気孔の開孔と閉孔の臨界点になるか、あるいはまた、明処理においても気孔が閉じるまでの所要時間とその間の水ストレスの変化など多くの検討課題が残っている。

### 3) 降雨日の明条件下におけるフェーン処理区の体内水分の変化

前項では昼間のフェーン処理やフェーンの遭遇では白穂被害や白化穎花が発生しにくいことを体内水分の面から明らかにした。ところが、池田<sup>2)</sup>は1976年9月13日に台風17号の襲来したときに降雨後の昼間のフェーンで愛媛県東予地区に白穂被害の発生したことを報告している。また、山形県下においてもやはり降雨後の南風で昼間でも白穂被害が発生している。さらに、上原<sup>11)</sup>らは育種の立場から水稻のフェーン害の抵抗性簡易検定法を検討し、フェーン処理を行う前に2～3時間のシャワー処理を行っておくと昼間の明条件下におけるフェーン処理でも白穂被害の発生することを明らかにしている。

今回の実験により降雨日の水稻の体内水分は夜間

のそれとほぼ同様に経過し、昼間のフェーン処理でも白穂被害の発生することが明確になった。このことは前記した昼間のフェーン害の発生事例が体内の水ストレスの面から解明されたことになる。

## Ⅲ. 稲体内水ストレスの発生差異

明処理と暗処理では稲体の各部位で測定される水ポテンシャルの傾向の異なることがわかった。また、明処理であっても降雨日のように体内の水ポテンシャルが高い状態の水稻をフェーン処理すると、暗処理した水稻と類似した体内水分変化を示し、白穂や白化被害の発生することが明らかになった。このような被害の発生と高い関係にある体内の水ストレスの差異はどのような原因によって発生するか明らかにしておく必要がある。そこで根からの吸収量や体内の通水量に関する実験を行い、体内における水ストレスの発生差異について追究した。

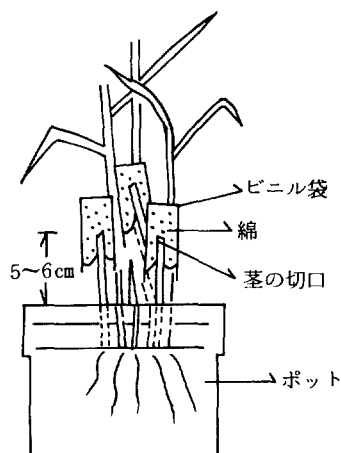
### 1. 実験材料及び方法

#### 1) 供試品種とその栽培法

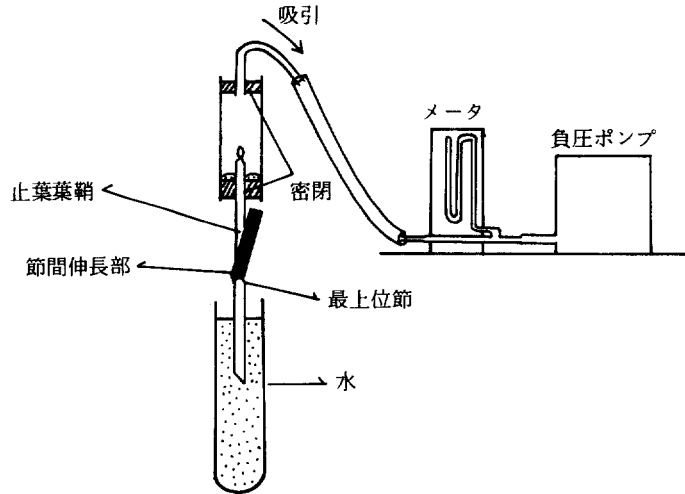
水稻の供試品種及びその栽培方法、さらに風洞によるフェーンの処理方法などは前項Ⅱの実験方法と同様である。

#### 2) 吸水量の推定

フェーン処理中の吸水量の測定方法については、溢泌現象すなわち、稈の基部における傷部溢泌量の追跡調査を行い根からの吸水量を推定した。測定方



第9図 傷部溢泌液の測定方法



第10図 節間伸長部位の通水量の測定

法の概況は第9図のようである。稈を切断した箇所は地際から5～6cm上とし、切断後は直ちに切り口に脱脂綿をとりつけ、一定時間後における綿の重量差から溢泌量を求め、これを吸水量とした。実際の実験に入る前に溢泌量の日変化や稈を切断した後の経過時間と溢泌量の関係、溢泌量の茎間における変動などの予備調査を行った。溢泌量を調査した稈は直ちにその表面積（生葉面積と穎花の表面積）を調査した。

### 3) 体内における通水量の推定

植物体内における通水量の測定方法については、これまでに幾つかの方法が開発されている。しかしながら水稻を対象にする場合には、稈が細いことや軟らかいことなどが原因して測定が困難であった。そこでここでは第10図のような方法で節間伸長部分を含む稈の通水量を求めた。すなわち、出穂日から出穂後7日前後までの水稻を供試して、最上位の節を含めた稈を切り出し、直ちに水を入れた試験管に固定し、上の方から負圧をかけ、定時間後における水の移動した量を求めて体内の通水量を推定した。稈を切り出してから負圧をかけ始めるまでの所要時間は10秒以内である。

## 2. 実験結果

### 1) 稈の基部における傷部溢泌量について

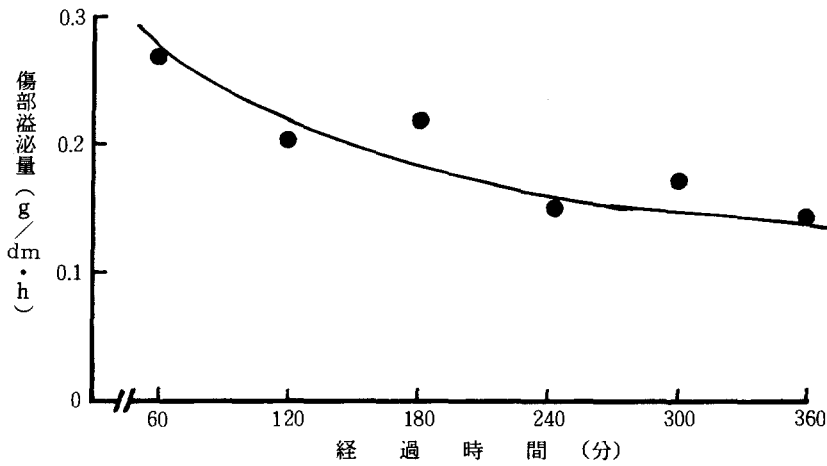
無処理区的水稻を用いて稈の切断後の経過時間と

切り口からの溢泌量の関係を求めると第11図のようであった。図は午前9時前後に稈を切断してその後60分間ごとに溢泌量を測定した結果を示したものである。この溢泌量は傷部からの溢泌量であり水孔などからの溢液現象とは異質のものである。従って、稈の切断後の経過時間とともにその量は徐々に減少する傾向となり、同じ稈を使った長時間の測定は不可能であると判断された。1株の中でも茎間によって差のあること、また第12図のような日変化がみられることなどが明らかになった。

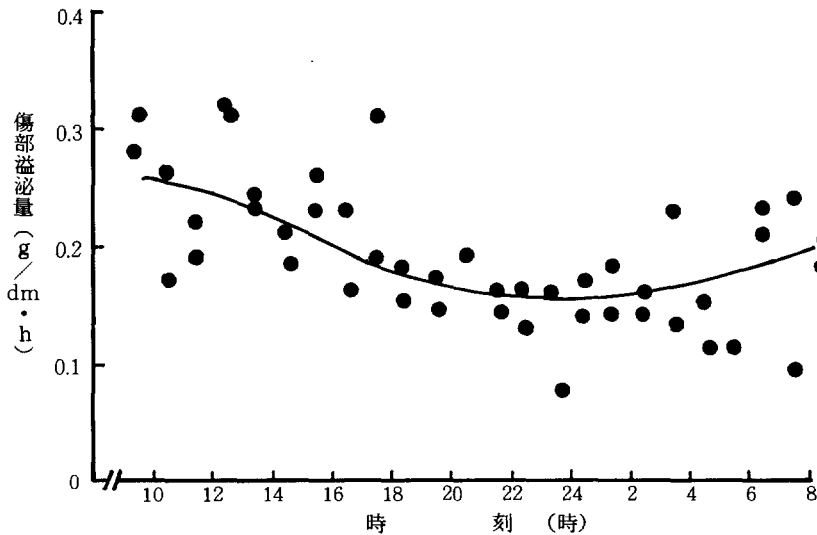
以上のような予備実験の結果により、フェーン無処理区の場合は稈の切断後60分間の溢泌量を測定し、フェーン処理した水稻は稈の切断後10分間の溢泌量を測定した。これはフェーン処理した水稻あるいは処理中の水稻の場合には、切断後長い時間をかけて測定しているとフェーン処理したことによって生ずる傷部溢泌量の特徴が消滅してしまうおそれがあるからである。また、風が均一に当たるように1株の中の5～6本の茎を残して他は実験の前日に地際から切除した。

### 2) 明・暗処理区の傷部溢泌量について

第13図は明・暗それぞれのフェーン処理中に測定した傷部溢泌量である。明処理区の溢泌量はフェーン処理の開始後急激に増加し、15分程度経過するとフェーン処理前の2～3倍の量となったのに対して暗処理区の溢泌量はほとんど増加せず、フェーン処



第11図 茎の切断後の経過時間と傷部溢泌量の変化 (1983. 8, コシヒカリ)



第12図 傷部溢泌量の日変化 (1983, コシヒカリ)

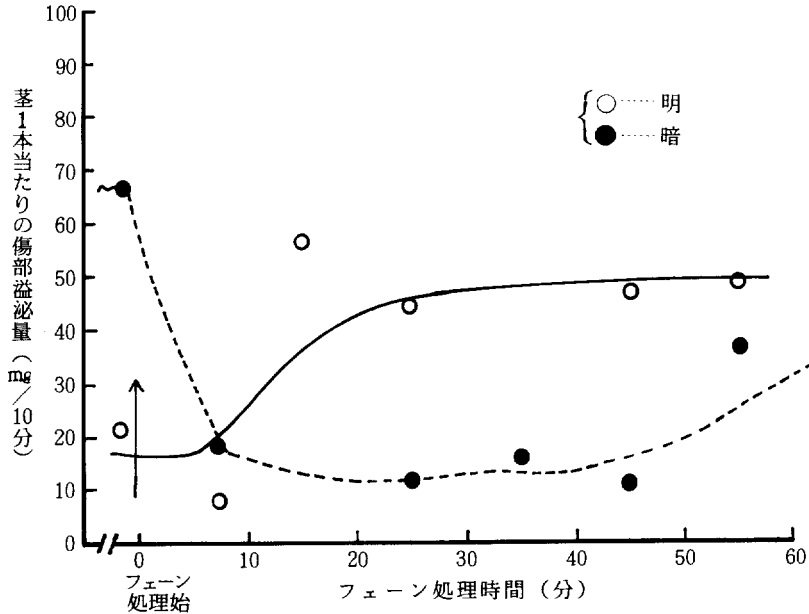
理の開始後50~60分ด้วยやく増加し始めた。なお、フェーン処理開始時の溢泌量の値が多いのは、ほぼ飽和状態の水稻の場合は切り口の周囲の水が一時的に漏れ出たものとみられる。

以上のように、明処理における傷部溢泌量の経時変化は第6図に示したフェーン処理中の外穎で測定した水ポテンシャルあるいは第5図の木部水ポテンシャルの推移と、暗処理区のそれは第4図の暗処理中に測定した穎花の水ポテンシャルや第3図の木部水ポテンシャルの経時変化とそれぞれ類似する動き

を示すことが明らかになった。

### 3) 稲体内における通水量の推定

第10図のような方法で水稻の体内の通水量を測定したのは二つの目的があった。第一は明・暗それぞれのフェーン処理で通水量が異なり、暗処理区に通水量が少なく稲体の水ストレスが増大することへの期待であり、第二は供試した稈に節間伸長している部分を含めることによって原生導管の成熟過程における通水能力と水ストレスの関連に対する知見を得ることである。

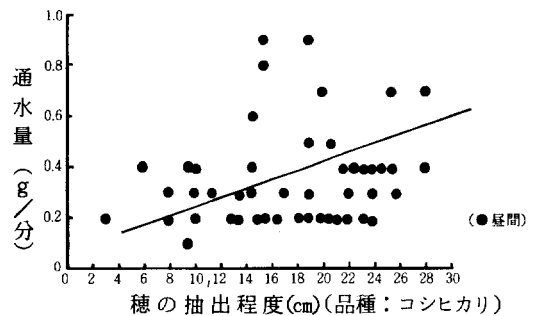
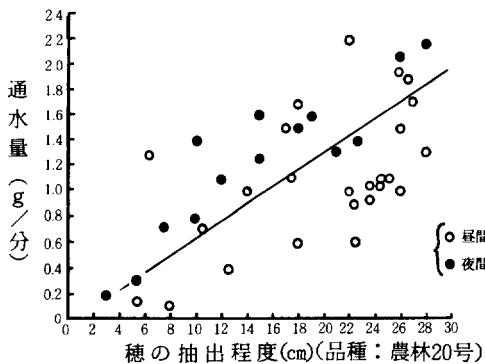


第13図 明・暗フェーン処理区の傷部溢泌量の差異 (1983, コシヒカリ)

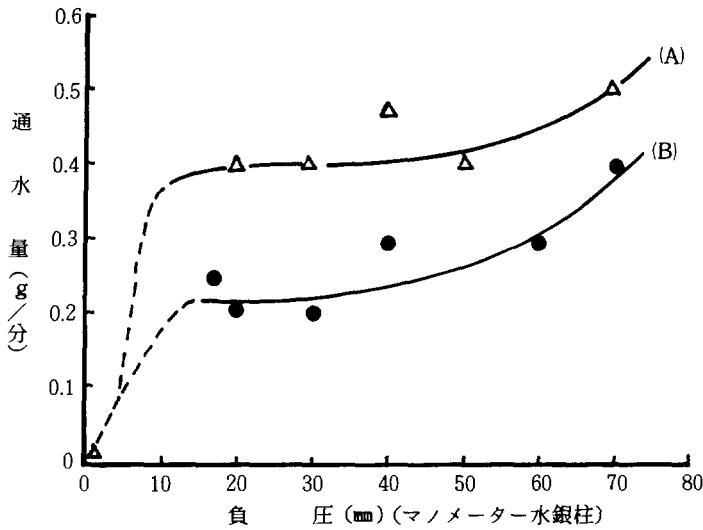
第14図は穂の抽出程度と通水量の関係を示したものであり、供試した農林20号については夜間の測定値も併せて示した。図にみられるように昼夜の処理による通水量の差異は特に認められなかった。しかし、抽出の進んでいる程は通水量の多い傾向が認められた。

第15図は穂の抽出程度の異なる2本の稈を供試し

て、負圧を徐々に増加させた場合の単位時間当たりの通水量の変化を示したものである。負圧を加えない場合には通水はみられないが、負圧の増加とともに通水量は増加した。しかし、負圧ポンプの容量が少ないため、穂の抽出程度と通水量の限界値などに関するデータは得られなかった。



第14図 穂の抽出程度と第1節の通水量の関係 (1983. 8)



第15図 負圧と稈の通水量の関係 (1983. 8, コシヒカリ)

注) (A) … 穂の抽出程度 16.5cm  
(B) … “ 12.5cm

### 3. 考 察

フェーン処理を行う前の稲体の水分状態によって、処理中に生ずる水ストレスについてさらに考察を進めてみる。前項ではフェーンの処理を行う前の稲体の水分状態が通常の昼夜で異なること、これに起因して処理中の気孔反応が変化して体内の水ストレスに差が出ることを推察した。しかし、気孔や水孔からの蒸散量の差だけでは処理中に発生する稲体の水ストレスの差異が大き過ぎるようである。次に考えられる要因としては水の供給と体内の通水量の問題がある。

植物の根からの吸水量や体内における通水量の測定方法については、これまでに幾つかの方法が開発されている。例えば、コバルトなどを使い植物体内における水の動態を追跡する方法や熱伝導率の測定から推定する方法<sup>10)</sup>などである。これらの実験手法をこの実験に利用できるか否か検討した結果、水稻の場合は吸水量の絶対量が少ないことや稈が細くて軟らかいこと、フェーン処理の場合は時間が短かくしかも風によって稲が揺れ動くこと、取り扱いやその後の分析が複雑であることなどから、稈の基部における傷部溢泌量を調査して根からの吸収量を推定する方法とした。

まず、稈の基部の傷部溢泌量から吸水量を推定することができるかどうか、あるいは、今回の実験にこの手法の採用が可能かどうか検討してみた。溢液現象は正常な状態にある植物体の水孔などから水が溢れて出る現象であり、一般に水の供給が十分あり体内の含水率の高い場合や空気中の湿度が高く蒸散作用が抑制されたり、あるいは、気温が高く吸水作用が盛んであるなどの条件で、その量の増加することが知られている。これに対して、傷部溢泌現象は傷口から水の漏れ出る現象であり、根の発達の大いものや根圧の大いときほどその量の多いことが知られている。従って、第11図に示したように稈の切断した後の数時間にわたって溢泌するのは、単に傷口から周囲の水が漏れるということではなく、引き続き根から吸水された水が傷口から漏れでることになり傷部溢泌量から吸水量の推定は可能であると判断された。これは次のような実験結果によるものである。

稈の切断後の経過時間と傷部溢泌量の関係は第11図のようであり、時間の経過とともに溢泌量が減少することから、同一の茎を用いた長時間の測定は不可能であり、日変化などの測定では切断後1時間の測定とした。第12図はこのような条件を設定して測定した傷部溢泌量の日変化であり、都合2回の終日

調査の結果を示してある。傷部溢泌量は夜間には少なく、蒸散が盛んな昼間に多い結果となった。ところでこの調査においては、稈によってバラツキがみられ、フェーン処理した水稻の場合にはさらにバラツキが大きくなるのが懸念された。そこで、風が均一に当たるように1ポット当たり5～8本の稈を残し、他を切除した水稻を供試した。

以上のような予備実験のあと実験を進めた結果、さらに次のような問題が出てきた。すなわち、風洞によるフェーン処理は1～2時間の処理である。このため、5分間のフェーン処理を行った後に稈を切断して、その後1時間にわたって傷口に綿を当てて溢泌量を測定することになると、わずか5分間のフェーン処理により生じた吸水量の影響が溢泌量の測定中に消滅してしまうおそれがある。稈を切断した後はなるべく短い時間の溢泌量の測定がフェーン処理によって生じた吸水量の変化を反映した値になるものと判断される。そこで、再度数回の予備実験を行った結果、第16図のようにフェーン処理の開始後5分あるいは10分間隔に稈を切断し、その後10分間の溢泌量を測定した。

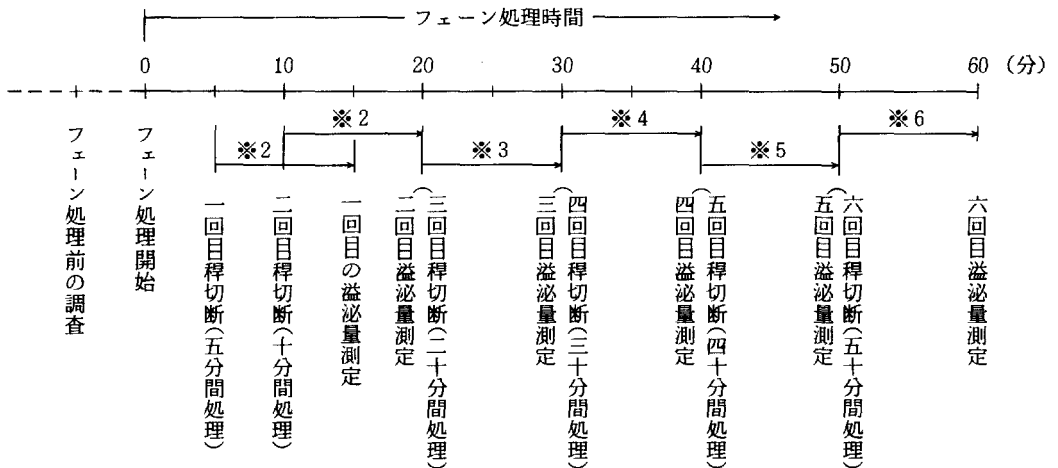
このようにして行った実験の結果と第4図に示したフェーン処理中の顕花の水ポテンシャルの経時変化を重複させてみると第17図のようになり、明・暗それぞれの条件でフェーン処理した水稻に発生する

水ストレスの差異は次のような要因が関与した結果であることが推測された。

通常、昼間の水稻は既に周囲の環境を反映した水ストレスが課せられており、根からの吸水量・体内の水分移動量・体内水分量に対応した気孔の開度とそこからの蒸散量は相互にバランスしている。この状態にある水稻をフェーン処理すると蒸散量は一時的に多くなり水ストレスは増加する。しかし、気孔はすぐに閉孔して蒸散を抑制する態勢が短時間でできあがる。また、茎の基部における傷部溢泌量が増加したことから、吸水量の増大へとストレスは伝達され、フェーンにより収奪される水分量に対応するだけの吸水態勢ができあがり水ストレスは回復したり、あるいはフェーン処理を行う前の水ストレスも解消される事例が認められる。

これに対して水稻の体内水分が飽和状態となる夜間、あるいは湿度が高く蒸散量の少ない降雨日など、体内の水分状態が夜間のそれに近い条件下にある水稻をフェーン処理すると、気孔が開いて蒸散量が増加するのに伴って、水ストレスは増加するが第13図のように、吸水量が蒸散量に追隨するためには時間がかかり態勢ができあがるまでにさらに体内の水ストレスは増大して被害の発生に至るものと推測される。

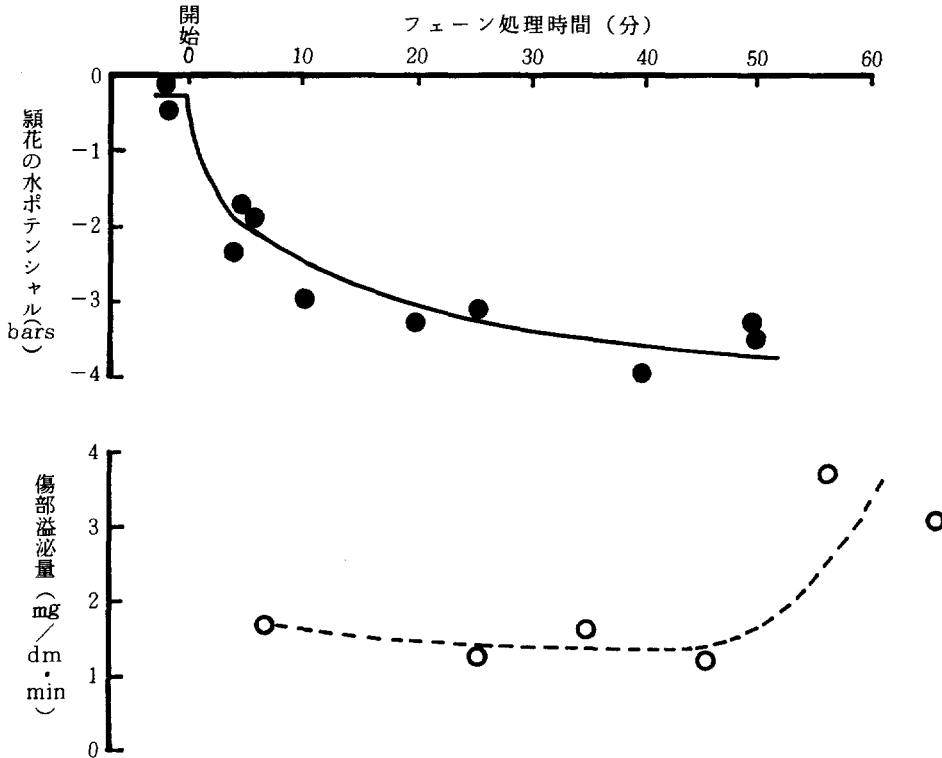
この推論は今回の実験結果だけでなく、これまで



第16図 フェーン処理中の傷部溢泌量の測定時間配分

注 1) ※n : 溢泌液採集時間、10分間

2) 稈切断後葉面積などを測定した。



第17図 夜間フェーン処理した水稻の穎花の水ポテンシャルと傷部溢泌量の変化(1983. 8, コシヒカリ)

の風洞実験の際にも何度か経験している。例えば、夜間にフェーン処理を行い一定時間ごとに穂を切り取ってその白化穎花数の増加状況を調査すると、ある時間帯までは急速に白化穎花が増加しその後はほとんど増加しないこと、あるいは、正午頃からフェーン処理を開始した水稻はその後4～5時間のフェーン処理にもかかわらず白化穎花の発生は全く認められないことなどである。前者は第13図のように吸水量が増加し水の補給態勢ができあがった時間帯以後は被害の進展が停止したものであるし、後者の例は吸水量の多い昼間のフェーン処理では蒸散量に対応する水の補給態勢が短時間にできあがりポット内からの吸水が可能な限りその状態が継続されていたものである。

次に水稻の体内における通水量について考察する。稲の体内における通水量の多少に影響する外的な環境条件としては、気温の影響を考える必要がある。周知のように体内の通水量は高温で病的にならない限り気温の高いときほど多くなる。従って、フェー

ン時の高温は体内の通水量の点では問題はない。ところが実験結果の中で触れたように白穂の発生しやすい時期は出穂直後からその後1週間位の期間である。この期間は節間伸長の最も盛んな時期であり、体内における水分の通導機能の成熟過程と水ストレスの関係に関心を持たざるを得ない。節間伸長期において伸長節間の基部から先端部に通ずる維管束には数個の原生導管と後生導管が形成されるが、これらの導管が節間伸長に伴って成熟する過程は次のように説明されている<sup>3)</sup>。まず、最初に直径の小さい原生導管が成熟し、その後順次直径の大きい後生導管の成熟が進行する。また、それに伴って前に成熟した直径の小さい原生導管は崩壊する。従って、節間伸長中は常に1～2本の通水機能を持った成熟した原生導管が存在していることになる。しかし、原生導管の通水機能は節間伸長終了後に成熟する後生導管に比べて小さいことが知らされている。第15図はこの点を明らかにする目的で実施したものである。今回の実験では穂の抽出の進んだ茎は通水量が



多い傾向はみられたが、通水量の限界値や昼・夜の  
実験による量の差異は認められなかった。

測定値にバラツキが多いこともあり実験方法も含  
めてこれらについては今後さらに検討する必要がある。

#### IV. 摘 要

フェーンによって発生する水稻の白穂被害は、気  
孔や水孔などからの多大な蒸散量によって稲体の水  
ストレスが増大して発生する被害である。しかし、  
蒸散量の少ない夜間にフェーンに遭遇した場合に被害  
が大きくなるという特徴がある。この原因を明らか  
にする目的で被害が発生するときの稲体各部位の水  
ストレスと茎の基部における傷部滲出量を測定した  
結果次のことが明らかになった。

- 1) 稲体の水分状態が飽和状態にある夜間にフェ  
ーン処理した水稻は、気孔が開孔するなどして蒸散  
量は多くなる。しかし、吸水量はすぐに増加しな  
いことから木部や穎花の水ポテンシャルは急激に  
低下して白化被害が発生した。
- 2) 昼間にフェーン処理した水稻も一時的に水ス  
トレスが増大する傾向を示す。しかし、気孔はすぐ  
閉孔し吸水量も多くなることから水ストレスは緩  
和されて被害は発生しなかった。
- 3) 降雨日の稲体の水分状態は夜間のそれに類似す  
る。このような水稻を昼間にフェーン処理すると  
夜間のフェーン処理の場合と同様な水ストレスの  
経過を示し被害が発生した。
- 4) このようにフェーン処理するときの体内の水分状  
態によって処理中の水ストレスの異なることが明  
らかになった。これは蒸散量の多少に影響する気  
孔の開閉は体内の水分状態を受けて周囲の環境条  
件に敏感に反応するのに対して、夜間の吸水量は  
それに追従しにくいことが原因のようである。

#### 引用文献

- 1) 平沢 正・石原 邦 (1979) 水稻の体内水分と  
環境条件との関係。第2報 葉の水ポテンシャル  
と木部の水ポテンシャルについて。日作紀 48(4)  
: 557 ~ 568.
- 2) 池田鐘一・田岡昭敏・藤田 聡 (1977) 日中の  
フェーン現象による出穂期頃水稻の白穂など。昭  
和52年度日本農業気象学会全国大会講要 20.
- 3) 川原治之助・長南信雄 (1968) 稲の形態形成に  
関する研究。第5報 稈における維管束の成熟過  
程。日作紀 37 : 399 ~ 410.
- 4) 村松謙生 (1973) フェーン時の気象特徴と稲作。  
農及園 48 : 1476 ~ 1478.
- 5) ——— (1976) 北陸地域におけるフェーンの  
発生とその水稻被害。北陸農試報 19 : 25 ~ 43.
- 6) ———・鴨田福也・石原 邦 (1979) 高温低  
湿度条件下における水稻の夜間蒸散について。日  
作紀 48 (別1) : 193 ~ 194.
- 7) ———・——— (1981) 水稻のフェーン害  
に関する研究。北陸農試報告 23 : 19 ~ 56.
- 8) ——— (1982) フェーン条件下における水稻  
の体内水分に関する研究。北陸農試報 24 : 1 ~  
28.
- 9) ——— (1983) フェーンによる白穂 (白花穎  
花) 被害の発生パターンについて。日本農業気象  
学会北陸支部会誌 8 : 65 ~ 70.
- 10) Tetsuo SAKURATANI (1981) A Heat  
Balance Method for Measuring Water Fl  
ux in the Stem of Intact Plants. Journal  
of Agricultural Meteorology 37 (1) : 9  
~ 17.
- 11) 上原泰樹・佐本四郎 (1979) 水稻品種のフェ  
ーン害抵抗性の検定法について。北陸農試報 22:  
89 ~ 100.

## Developmental Mechanism of White Head Injury of Paddy Rice Caused by Foehn

Kensei MURAMATSU

*Environment Division, Hokuriku National Agricultural Experiment Station ;  
Inada, Joetsu, Niigata, 943-01, Japan*

### Summary

In this study, the experiment was conducted on the water stress of paddy rice when white head injury is generated for the purpose of elucidating the foehn injury of paddy rice being the representative meteorological disaster in the Hokuriku district and the experimental results are summarized as follows.

1. The white head injury of paddy rice is generated when the paddy rice meets with foehn immediately after head sprouting. However, the paddy rice meeting with foehn in the night receives more severe injury as compared with that meeting with foehn in the day.

2. When this cause was compared on the basis of the measured value of the water stress of paddy rice, characteristic difference was confirmed.

1) The amount of water absorption increased but water stress did not increase by the foehn treatment in the day.

2) The amount of transpiration became larger than the amount of water absorption and water stress increased by the foehn treatment in the night and, as the foehn treatment time was made long, the amount of water absorption became much and the development of the injury decreased thereafter.

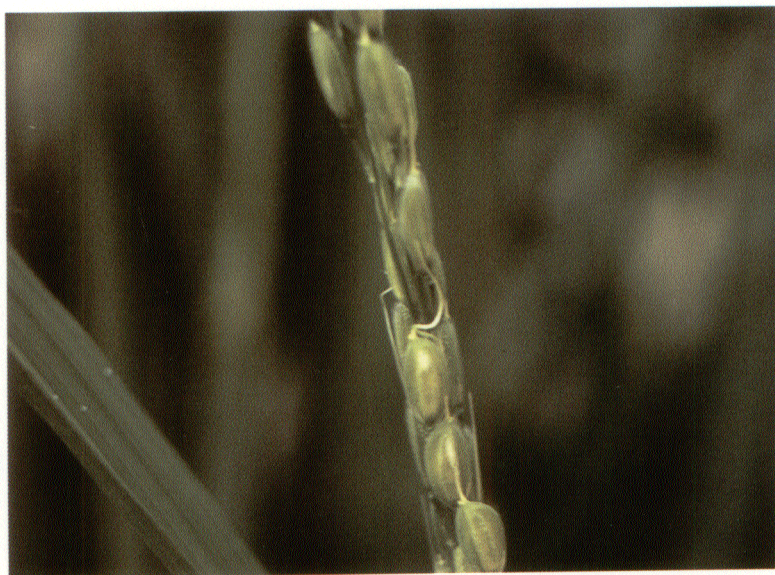
3. There is such an instance that the white head injury was generated when paddy rice met with foehn after a rainfall in the day.

This phenomenon is considered to be generated because the moisture state of the paddy rice on a rainy day closely resembles to that in the night and the paddy rice shows the same moisture change as one subjected to foehn treatment in the night.

{Bull. Hokuriku Natl. Agric.  
Exp. Stn. 30, 131~148(1989)}



第1図 フェーンによる白穂被害  
(1986年8月新潟県水原町に発生)



第2図 フェーンで発生した白化穎花  
(1979年8月新潟県板倉町に発生)