

北陸地域におけるフェーンの発生とその水稻被害

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	19号
掲載ページ	p. 25-44
発行年月	1976年11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



北陸地域におけるフェーンの発生とその水稻被害

村 松 謙 生*

目 次	
I 緒言	25
II 北陸におけるフェーン発生事例	26
1 調査方法	26
2 調査結果および考察	26
III フェーン日の気象の特徴	28
1 観測方法	28
2 観測結果および考察	29
IV フェーンによる水稻の被害	33
1 実験材料および方法	34
2 実験結果および考察	37
V 摘要	39
引用文献	39
英文摘要	41
写真版	43

I 緒 言

北陸地域は地形的にフェーン現象の発生しやすい地域であり、従来しばしばフェーンによる水稻の被害が発生している。近年発生したおもなものをみると、1969年8月に富山県下で約3,000haの白穂被害が発生し（富山地方気象台1969）、翌1970年7月には、同県神通川一帯に約5,000haの被害が報告されている（富山地方気象台1970）。新潟県下でも1972年7月に台風9号が接近し、その影響で発生したフェーンによって、それまで「並」と判定されていた作柄が一変して「やや不良」となるほどの被害が発生している（野田ら1973）。

フェーンによる水稻被害は、主として白穂の発生などの登熟障害として発現するが、出穂期から登熟初期にかけての数日間に突発的に発生するため、稲作農家に与える打撃は大きいにもかかわらず、現在のところ適切な被害防止技術は開発されていない。

フェーンに関する研究は古くからみられ、岡田（1929）は、明治42年8月6日に新潟県に発生した「たばかぜ」をフェーンの種類と報告している。安武ら（1941）は、宮崎県下に発生した水稻の白穂被害を乾燥風による被害と報告し、さらに1947年9月にカスリン台風が東海道沖を通過後に、静岡県下で出穂直後の水稻2,200haに、また翌年の1948年9月のアイオン台風の襲来時にも同様に静岡県下だけでも20,600haに白穂被害が発生し、栗田ら（1949）、木邨（1950）、松尾ら（1951）、角田ら（1952）らにより、その解析と実験的証明がなされている。その後、坪井ら（1958）志茂山（1959）らは、風洞実験や圃場試験により、風害、フェーン害を稲体水分の面から解析している。また農林省統計調査部の統計指導官室、作況研究室、作況試験室関係では、農作物被害減収推定尺度作成の観点から、フェーンによる水稻被害を解析し、多くの業績を残している（中村ら1955、品川ら1957、中山ら1963）。

* 環境部農業気象研究室

しかしながら、北陸地域に発生するフェーンの風温は、前記の他地域におけるフェーンの場合より、はるかに高温であるなど、農業気象面からみて特異的であり、他地域の成績をそのまま引用できない。それにもかかわらず北陸地域で発生するフェーンに関する研究報文は、柴崎 (1956)、田崎 (1959) などの数編にすぎず、しかも水稲の被害についてはみあたらない。そこで、北陸地域におけるフェーンによる水稲被害防止技術開発の観点から、過去に発生したフェーンの気象要因を解析し、さらに風洞を用いて実験的にフェーン害を再現して、水稲の白穂被害発生に対する気象要因について検討した。

本報告を取りまとめるにあたり、日本気象協会高田支部をはじめ、新潟、富山、石川、福井の各支部から、有益な助言と資料をいただいた。また当场前農業気象研究室長大沼匡之氏から御指導をいただき、更に同室の小林一雄技官、高橋久三郎技官には終始御協力を得た。各位に対し感謝の意を表したい。

Ⅱ 北陸地域におけるフェーン発生事例

北陸地域において過去に被害が問題となったフェーンについて明らかにするため、次の方法で調査を行なった。

1 調査方法

フェーンによって発生する水稲被害の大きい時期は、出穂期から登熟初期であるので、この時期に発生したフェーンを対象に、気象庁発行の天気図、気象表、その他公刊資料にもとづいて、フェーンの発生条件や年次別発生数、またその継続時間などについて調査した。

2 調査結果および考察

北陸地域の水稲の出穂期は、7月下旬から8月上旬であり年々多少早くなりつつあるが、ここでは7月、8月の2カ月を対象にした。以下7月、8月に発生した代表的なフェーンを例示すると次のようになる。

a) 1972年7月23日～25日

台風7号(23日、中心気圧960mb)と、9号(同970mb)の2個の台風が接近し、7号は迷走台風で25日まで、沖縄、宮古島付近に止まったが、9号は23日の午後8時頃、宮崎、大分県境に上陸して各地に大きな被害が発生した。24日にはやや勢力が衰えて日本海に入り、25日に熱帯性低気圧となって消滅した。この間北日本から太平洋をおおう高圧帯より、南東の風が吹き込み、日本海側は3日間フェーンがつつぎ、連日30°C以上の高温となった。このため出穂期の水稲に被害が発生した。

b) 1973年8月16日～19日

台風10号(16日、中心気圧975mb)が、日本海南部を北上し、18日には992mbの低気圧となって消滅した。このため天気図は夏型となり残暑がつついだ。特に18日～19日は太平洋上の高圧帯より、日本海上の低圧部に南風が吹き込み、北陸地域は強いフェーンとなり、富山県で登熟不良が問題となった。

以上の事例からも明らかなように、北陸地域に発生するフェーン日には、日本海へ低気圧

が浸入することが条件であり，7，8月には台風や台風くずれの熱帯性低気圧が日本海南部を通過して北上中に多く発生し，太平洋上の高圧帯から強い南風が吹き込む形となり，天気図は東高西低である。したがって，北陸地域に発生するフェーンの継続時間は，この台風や熱帯性低気圧が日本海に所在する時間ということになり，その北進速度によって左右される。これは過去の例からみると，1～3日となっている。また，台風に関係なく日本海上に発生した低圧部に，太平洋上の高圧帯から南東の風が吹き込み，フェーンとなる例もあるが，その数は少なく，期間も半日かせいぜい1日程度の比較的弱いフェーンであり，水稲の被害は少ない。

第1表 北陸地域における7，8月の年次別フェーン発生数（記録にあるもの）

県別 年次	新 潟	富 山	石 川	*福 井
1963	—	8月9日（台9号）	8月9日（台9号）	8月9日～10日（台9号）
1964	8月19日～20日（台14号）	—	8月24日（台14号）	7月19日 8月24日
1965	8月6日（台15号）	8月6日（台15号）	8月6日（台15号）	8月7日（台15号）
1966	—	8月15日～18日（台15号）	8月20日（台15号）	8月20日（台15号）
1967	—	8月12日（台25号）	—	8月9日～10日（台25号）
1968	—	—	8月16日（台7号）	8月16日（台7号）
1969	—	8月3日～4日（台5号）	7月13日	7月13日
1970	7月4日～6日（台2号）	7月5日～6日（台2号）	7月18日 8月21日～22日（台10号）	7月5日～6日（台2号）
1971	8月4日～6日（台19号）	8月5日～6日（台19号） 8月11日（台20号）	7月7日～8日（台13号） 8月6日～7日（台19号） 8月11日～13日（台20号）	7月8日（台13号） 8月4日～6日（台19号）
1972	7月22日～25日（台9号）	7月23日～24日（台9号）	—	7月24日～25日（台9号）
1973	8月16日～18日（台10号）	8月19日（台10号）	8月17日（台10号）	8月15日（台10号）
1974	8月4日～5日（熱低）	8月24日（太平洋高気圧）	—	—

注）* …「フェーン発生」としては記録されていないが「高温の強い南風の吹いた」との記録はある。

参考資料……各県農業気象月報

第1表は、7、8月に北陸地域で発生し、各県の農業気象月報に記録されたフェーンの年次別一覧表である。フェーン発生の過去の記録は少なく、その数を正確に知ることはできないが、この表によると、北陸地域におけるフェーン発生回数は、年1～2回、多い年で3回となっている。また被害記録による発生回数の推定も試みたが、報告数が少なすぎて成功しなかった。一方、気象庁の資料(1971)によると、我が国に上陸または接近した月別平均台風数は、7月1個、8月2個で、このうち日本海を北上した台風数は、1967年から1974年の8カ年間に、台風発生数の少なかった1969年を除き、毎年1個となっている。

このように、過去のフェーン発生事例や、台風の経路からみると、7、8月に北陸地域で発生するフェーン数は、毎年1～2回とみることができる。

Ⅲ フェーン日の気象の特徴

フェーンによる水稻の被害は、高温、乾燥風により、稲体水分が奪われ、水分の不均衡を生ずることによって発生する。栗田ら(1949)は、静岡県下の白穂被害発生時の気象状態を、気温27°C前後、湿度58～65%、風速5.0～6.7m/secの乾燥風と報告し、実験により温度28.5°C、湿度57%、風速5m/secの条件下で白穂被害を発生させた。また木邨(1950)は、ドライヤーの乾風(温度27～28°C、湿度57～63%)を当てた水稻を、屋外の直射光の下に出したところ1～2時間後に白穂が発生したと報告している。しかし、北陸地域に発生するフェーンは前記の場合にくらべ、高温、乾燥風であることに特徴があり、田崎(1959)は新潟で測定されたフェーン時の気象を、気温35°C、最少湿度30%台、風速12m/secと報告している。そこで、北陸地域に発生するフェーンの気象的特徴を明確にするため、次の観測を行なった。

1 観測方法

北陸農業試験場農業気象研究室では、常時自動記録装置により、気温、湿度、風向、風速、日射量などの観測を実施しており、また日別に蒸発量、降水量の測定を行なっている。1970年から7、8月のフェーン日には臨時観測として、水田内で高度20、70、125、150、400cm

第2表 フェーン日の測定項目

フェーン発生 年 月 日	気 温		湿 度		風 速		風向	日射量	蒸発量	降水量
	1.5m	臨 時	1.5m	臨 時	6 m	臨 時				
70.7. 5～7	○		○		○	高度別 ○	○	○	○	○
71.8. 4～6	○		○		○	高度別 ○	○	○	○	○
72.7.22～25	○	高度別 ○	○	高度別 ○	○	高度別 ○	○	○	○	○
73.8.16～18	○	高度別 ○	○	高度別 ○	○		○	○	○	○
74.8. 4～5	○	高度別 ○	○	高度別 ○	○		○	○	○	○

の気温、湿度の測定および、理工研式小型ロビンソン風速計により、植被面上の数 cm から 130, 200, 360, 600cm の高度別風速分布を測定した。測定したおもなフェーン日と、観測項目は第 2 表のとおりである。

なお、北陸地域の平均的な気象を知るため、新潟、高田、富山、輪島、石川、敦賀、福井の気象表（農業気象月報）を用い、観測値の考察に使用した。

2 観測結果および考察

a) 7, 8 月の一般的気象概要

1) 気温

北陸地域内の各気象台と測候所 7 カ所の気温の平年値を吟味すると、当地域は南北に長いですが、各測定地間の温度幅は比較的少なく、ほぼ 2～3℃ の範囲となる。地域内では 1～1.5℃ の範囲内で敦賀が高く、輪島は低く、新潟、高田、富山が北陸の平均的な値を示す。日平均気温を北陸平均でみると、7 月下旬 26.5℃、8 月上旬 27℃、中旬 26℃、下旬 25.5℃ 前後となる。日較差は 7 月下旬～8 月中旬まで約 8.0℃、中旬～下旬までは約 7.5℃ となり、7 月下旬～8 月上旬の最高、最低気温は、それぞれ 30～31℃、21～22℃ となっている。また北陸農試における 18 時～翌朝 6 時までの夜間気温の平均値は 25～26℃ 前後でかなり高い。

2) 湿度

地域内の湿度変化は少なく、日中 70%、夜間 90% 前後で、日平均湿度は 75～80% である。

3) 風速

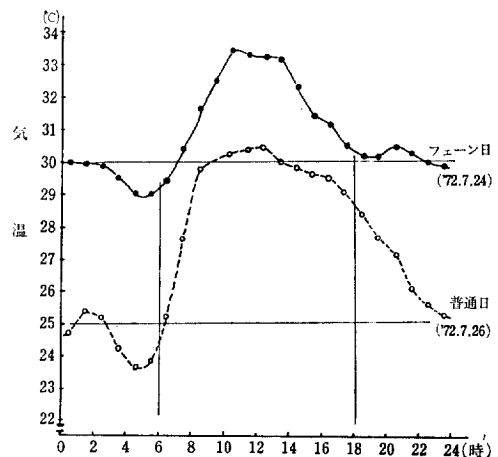
北面は日本海に沿い、南面は本州の脊梁山脈に守られた細長い地形のため、海陸風が顕著で、通常の夜は南成分の微風、日中は日本海からの北成分の風となる。夜間の陸風は弱く 0～1.5m/sec 程度であり、日中の海風は 11～15 時頃に 2～4 m/sec である。7, 8 月の風向の転換時刻を高田でみると、朝方 8 時 30 分～9 時 30 分、夕方は 18 時～19 時頃である。

b) フェーン日の気象の特徴

1) 温度

北陸農業試験場は、高田測候所の東約 2 km に存在するが、高田測候所の観測値は北陸地域内のほぼ平均的な気温推移を示した。そこで北陸農試観測露場で測定したフェーン日と普通日との気温変化を比較したものが第 1 図である。図において実線がフェーン日、破線が普通日である。このフェーン日の例は、最高気温 33.5℃ であり必ずしも高温のフェーンとはいえないが、日中高温であるばかりではなく、夜間も 30℃ 前後の高温となり、しかも日較差が少ない。

第 3 表は北陸農試において観測された、1960 以後の年間気温極値およびこれにつづく高温値と、その出現月日の一覧表である。



第 1 図 フェーン日と普通日の気温日変化の比較（北陸農試観測露場）

これによると、年間気温の極値は過去15カ年のうち11カ年はフェーン時に測定され、34～35°Cの高温となっている。当地域の半旬別の平年値は盛夏でも最高気温30～31°C、夜間平均気温25～26°Cであるので、フェーン日には昼夜にわたり4～5°C高温であることになる。

第3表 年間気温極値及びこれに続く高温値とその出現月日一覧表
(北陸農試観測露場)

年次	(極値)	2位	3位	4位	5位
1960	(33.8) °C 8.5 月日	(33.5) °C 8.4 月日	(33.2) °C 8.3 月日	33.0 °C 7.25月日	32.7 °C 8.7 月日
1961	(35.3) 7.26	(34.6) 7.24	(34.2) 8.26	34.1 8.1	(33.8) 8.25
1962	35.5 8.3	32.4 7.29	32.4 8.6	32.2 7.31	32.1 7.30
1963	(35.0) 8.9	34.9 7.27	(34.8) 8.10	34.7 7.26	(33.3) 8.8
1964	35.2 8.14	34.0 8.8	33.8 8.11	(33.2) 8.20	(32.5) 8.19
1965	(36.4) 8.6	(33.6) 8.22	33.6 8.21	(32.4) 8.4	(32.2) 8.5
1966	(35.3) 8.20	(34.8) 8.21	34.6 8.18	(34.4) 8.24	(34.0) 8.22
1967	(33.2) 8.12	32.0 8.10	32.0 8.24	31.9 8.22	31.6 7.14
1968	(34.4) 7.27	(33.8) 7.29	(33.5) 7.28	(32.2) 7.26	32.0 8.20
1969	33.0 7.30	32.4 7.28	32.1 8.3	31.7 8.13	31.7 8.31
1970	(34.8) 8.22	(33.0) 8.21	32.8 8.19	32.6 7.31	32.5 8.23
1971	(35.4) 8.5	(35.5) 8.4	(34.5) 8.6	31.7 7.29	31.7 8.2
1972	(34.6) 7.23	(33.8) 7.24	(33.6) 7.22	(33.2) 7.25	33.2 8.25
1973	(34.7) 8.18	34.6 8.12	(33.9) 8.17	33.6 8.3	(33.5) 8.16
1974	34.6 8.29	34.4 8.25	34.1 8.31	33.0 8.11	(32.4) 8.6

注) 上段 気温, 下段 出現月日, () ……はフェーン日

過去に静岡県下で白穂被害の発生したフェーン日の気温を、栗田ら(1949)は、その報文の中で「9月16日18時～19時 26.9～27.5°C, 23時～1時 27.1～27.6°C, その後4時頃まで25.0～25.6°C」と報告している。これは時期が秋ぐちにかかっていることにもよるが、当地域で問題となる夏のフェーンにくらべると3～4°C低い温度域内にある。

このように、北陸地域で7、8月に発生するフェーン日の気温は、日中34～35°C、夜間でも30°C以上が測定され、静岡県のそれに比較して高温であることが特筆される。

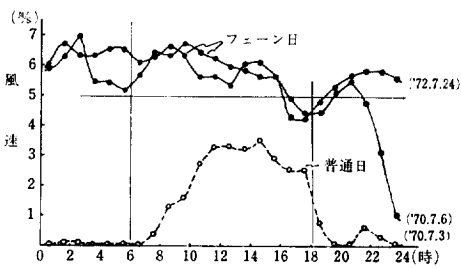
2) 湿度

第2図は北陸農試において観測したフェーン日と普通日およびフェーン終末日の、時間別湿度変化を比較したものであり、実線がフェーン日、破線が普通日を表わしている。フェー

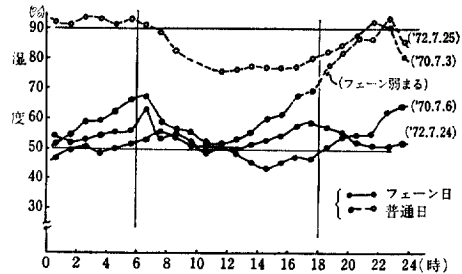
ンの強弱で湿度は異なるが、この3例は最低湿度でいずれも50%前後となり、普通日に比較して夜間約40%、日中でも20%以上低い。7、8月の北陸地域において、このような乾燥した状態はフェーン日以外にみられない現象である。

3) 風速

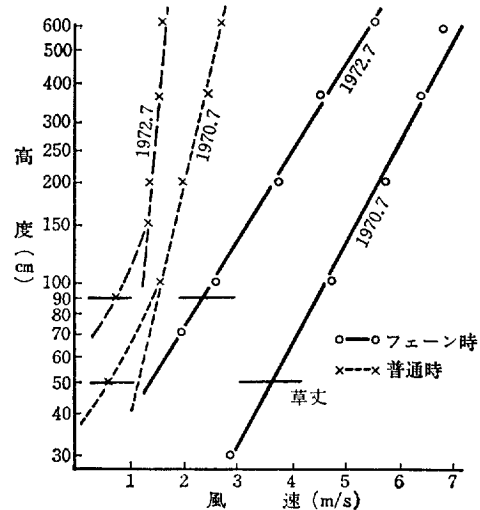
第3図はフェーン日と普通日の、平均風速の変化を比較したものである。普通日は夜間1 m/sec以下の弱い風で、日中の最高のもでも3 m/sec前後であるのに、フェーン日の2例はいずれも6 m/sec程度の強い風で、昼夜にわたり吹き込んでいる。1970年7月6日の例で、22時以後風速が低下しているのは、フェーンが終了したからである。



第3図 フェーン日と普通日の高度6mの風速比較（北陸農試観測露場）



第2図 フェーン日と普通日の湿度日変化の比較（北陸農試観測露場）



第4図 フェーン時および普通時の風速高度分布

第4図は1970および72年の7月に発生したフェーン日に、水田内で測定した高度6mまでの、水平風速の高度分布を片対数グラフに記入し、普通日の垂直分布と比較したものである。地表風の風速垂直分布がいわゆる対数分布で表わされることは、理論的にも実験的にもよく知られ（例えば、井上ら1952）、図の普通日に認められるように、ある高度以下の風速になると地面修正量が増加して対数分布が乱れるが、フェーン日の強風時では測定高度範囲では、まだ曲線部分はみられず、台風の場合（金川1963）と同様に、地面修正量は低下して風が群落内部まで侵入している。

このように、フェーン日の風速の特徴は、5～6 m/sec以上の南成分の強風が昼夜にわた

り吹きつけ、しかも水稻の群落内部まで侵入するので、高温、乾燥気流とともに稲体水分を奪い取る状態である。

c) フェーン日の熱および水蒸気の垂直輸送量

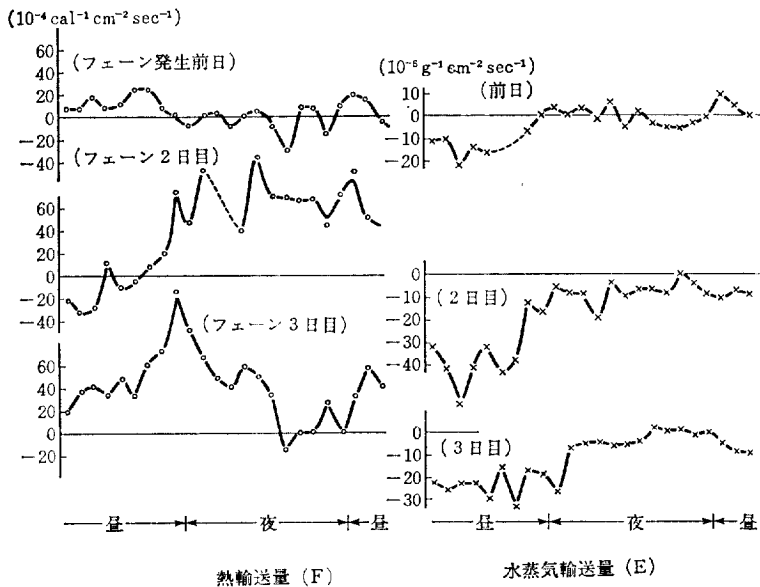
谷 (1960) と同様の手法を用いて、フェーン日と普通日の水稻群落から高度 150cm までの熱 (F) および水蒸気 (E) の垂直輸送量を求めた。F および E の算出方法は次のとおりである。すなわち水田内で 3 段階の高度の風速 (U_{1~3}) と、気温 (θ_{1~3})、湿度 (x_{1~3}) を測定すると熱および水蒸気輸送量は次の(1), (2)式で表わされる。

$$F = -C_P \rho \frac{k^2}{\ln \frac{z_3-d}{z_2-d} \ln \frac{z_2-d}{z_1-d}} \left\{ 2(U_2-U_1)-(U_3-U_2) \right\} \left\{ 2(\theta_2-\theta_1)-(\theta_3-\theta_2) \right\} \dots\dots\dots(1)$$

$$E = - \frac{k^2}{\ln \frac{z_3-d}{z_2-d} \ln \frac{z_2-d}{z_1-d}} \left\{ 2(U_2-U_1)-(U_3-U_2) \right\} \left\{ 2(x_2-x_1)-(x_3-x_2) \right\} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、C_P ; 空気定圧比熱(cal · g) ρ ; 乾燥空気密度(g · cm³)
 k ; カルマン常数 d ; 地面修正量(cm), z_{1~3} ; 測定高度(cm)
 U_{1~3} ; 高度別風速(cm/sec) θ_{1~3} ; 高度別気温(°C)
 x_{1~3} ; 高度別水蒸気量 (g/m³) である。

(1), (2)式を使い、1972年 7月19日 (フェーン発生 2日前) ~24日 (フェーン発生 3日目) までの、植被から150cm 高度までの熱および水蒸気輸送量を算出し、1時間当りの平均値として示したものが第5図である。この時の水稻の生育時期は穂孕期である。



第5図 熱および水蒸気輸送量

普通日の群落熱収支は、図の発生前日の例にみられるように、日中は大気からの受熱型、夜間には逆に放熱型を示すのが一般的である（図では受熱型をプラス、放熱型をマイナスで表示してある）。この関係は天気によって左右され、晴天日ほど明瞭となる。発生前日の熱輸送量は $10\sim 20\times 10^{-4}$ cal \cdot cm $^{-2}\cdot$ sec $^{-1}$ 程度であったものが、フェーン日には終日プラスを示し、その量も普通日の4～5倍に相当する $50\sim 70\times 10^{-4}$ cal \cdot cm $^{-2}\cdot$ sec $^{-1}$ 程度となり、特に夜間にも受熱型を示した。

次に水蒸気の輸送量についてみたのが同図右側である。一般に水稻群落からの水蒸気輸送量は、水田内の水の有無や、水稻の繁茂状態によって異なり、湛水状態や群落が繁茂するほど多くなる。また熱収支とは異なり日中は群落からの蒸散や、水面、土壌面からの蒸発が多く（図ではマイナス表示）なるが、夜間には少なく、逆に冷却した大気が飽和点に達して、葉面に結露することもある（図ではプラス表示）。しかし水稻が繁茂すると水面蒸発は少なく、その大部分は葉や穂からの蒸散量となる。またこの蒸散量は水面蒸発量と関係が高い。この観測したフェーンでは、発生日には田面の低い部分（足跡など）に水が残っていたが、発生して2日目には水がなくなり、3日目になると亀裂が入り、畦畔近くの高い部分に一部萎凋のみられる状態であった。フェーン発生前日の水蒸気輸送量は、日中はマイナス、夜間にはプラス傾向であり、その量は $10\sim 20\times 10^{-6}$ g \cdot cm $^{-2}\cdot$ sec $^{-1}$ 程度であり、1日の積算量は水深にして約7mm（水面蒸発量7.2mm）であった。これに対してフェーン期間は終日マイナス輸送となり、2日目15mm、田面水がかれてしまった3日目でも10mm（水面蒸発量12.4mm）となった。

これら輸送量の多少は、フェーンの強弱によって異なるがほぼ同様な傾向を示し、熱収支では終日高温大気からの受熱型となり、水蒸気輸送では逆に乾燥大気に奪い取られる状態で経過する。これらは水稻群落と大気間の輸送面からみたフェーン日の農業気象上の大きな特徴である。

Ⅳ フェーンによる水稻の被害

フェーンによる水稻の被害の第1は、高温、乾燥風による蒸散量の増大により、出穂期から登熟初期の水稻の体内水分が減少して発生する登熟歩合の低下で、そのはなはだしい場合には白穂が発生する（写真1, 2—p. 43）。第2は、強風による葉の裂傷や倒伏などの機械的被害である。しかし、後者は台風被害に比較すると風速が弱いため少ない。登熟歩合の低下や白穂被害の発生量は、気温、湿度、風速などの要因が、平均的な気象推移からどれほどの高温で乾燥した風であったのか、またその継続時間や昼夜の別などの気象的、時間的な要因によって異なる。一方、水稻の栽培面からみれば、フェーンに遭遇した時の生育時期による差異、水管理、施肥量、根の活力などによって異なるとみられる。

このフェーン日の気象要因の強弱と、その継続時間の量的関係を、木邨（1951）は(3)式で表わして夜間蒸散力（Q）とし、これを積算した合計が150（出穂期頃の通常の5倍）程度に達すると（具体的にいうと、気温25°C、湿度65%、風8m/sec程度の状態が数時間つづく）一部に白穂被害が発生し、さらに200（気温26°C、湿度55%、風速10～12m/sec）を越えると、出穂後1週間以内の穂の大半は白穂になったと報告している。

すなわち

$$Q = (E_s - e) \sqrt{U} \dots \dots \dots (3)$$

ここで Q ; 蒸散力 (mb · m/sec) E_s ; 飽和水蒸気張力 (mb)
 e ; 観測時の水蒸気張力 (mb) U ; 風速 (m/sec) となる。

この方法を北陸フェーンに適応させ、フェーンの強弱と被害発生度との関係について風洞実験を行なったが、あらかじめ蒸散力の計算を容易にするため、(3)式にもとづいて乾球と乾湿球差による飽差の算出表(第4表)と、飽差と風速(直接水稻に作用する風速の意味で高度1m)から蒸散力を求めた関係表(第5表—p. 35)を作成した。またこれによって求めた蒸散力と気象観測露場の水面蒸発量との相関係数は0.872で、1%水準で有意となり、北陸農試における8月初旬の夜間(18時~翌朝6時)1時間当平均蒸散力は1~8、日中は15~30程度となり、夜間としての合計蒸散力は55、日中の合計は270~280程度となった。

第4表 飽差(乾球:乾湿球差)

乾湿球差 気温	°C														
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	
38°C	4.0	6.0	8.0	9.9	11.9	13.9	15.9	17.2	19.2	21.2	22.5	24.5	25.9	27.2	
37	3.9	5.7	8.2	9.4	11.3	13.2	15.1	17.0	18.8	20.1	22.0	23.2	25.1	26.4	
36	3.8	5.3	7.7	8.9	11.3	12.5	14.3	16.0	17.8	19.0	20.8	22.6	23.8	25.5	
35	3.8	5.1	7.3	8.5	10.7	12.4	14.0	15.2	17.4	18.5	20.2	21.4	23.0	24.2	
34	3.7	5.0	6.9	8.4	10.1	11.7	13.3	14.9	16.5	18.1	19.7	20.7	22.3	23.4	
33	3.5	4.8	6.7	8.0	10.1	11.6	13.1	14.1	16.1	17.1	18.6	20.1	21.6	22.6	
32	3.3	4.8	6.5	7.6	9.5	10.9	12.4	13.8	15.2	16.7	18.1	19.0	20.5	21.9	
31	3.1	4.5	6.3	7.2	9.0	10.3	12.1	13.0	14.8	15.7	17.1	18.4	19.8	20.7	
30	3.0	4.2	5.9	7.2	8.9	10.2	11.4	12.7	14.0	15.3	16.5	17.8	19.1	19.9	
29	2.9	4.0	5.7	6.8	8.4	9.6	11.2	12.4	13.6	14.8	16.0	16.8	18.4	19.2	
28	2.8	4.2	5.6	6.4	8.3	9.4	10.6	11.7	13.2	14.0	15.5	16.3	17.8	18.5	
27	2.7	3.9	5.4	6.4	7.9	8.9	10.4	11.4	12.5	13.6	15.0	15.7	17.1	17.8	
26	2.7	3.7	5.1	6.0	7.4	8.7	9.7	10.8	12.1	13.1	14.1	15.1	16.5	17.1	
25	2.5	3.5	5.0	6.0	7.3	8.2	9.5	10.5	11.7	12.7	13.6	14.6	15.8	16.5	
24	2.4	3.3	4.8	5.8	6.9	8.0	9.2	10.1	11.3	12.2	13.1	14.0	15.2	15.8	
23	2.2	3.1	4.5	5.6	6.7	7.6	8.7	9.8	10.7	11.5	12.6	13.5	14.6	15.5	
22	2.1	3.2	4.5	5.3	6.3	7.4	8.4	9.2	10.3	11.1	12.1	12.9	14.0	14.8	
21	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.0	10.0	10.7	12.0	12.4	13.7	14.2	
20	2.1	3.0	4.0	4.9	6.1	6.8	8.0	8.7	9.6	10.5	11.5	12.2	13.1	13.8	

注) 乾湿球差……乾球—湿球

1 実験材料および方法

1973年からゲッチングン型風洞(吹出口40×60cm)を使用し、ポット栽培した矮稲—Cを用い、穂孕期~出穂後15日まで昼夜数十回にわたり、処理温度、湿度、風速の変化と、施肥

第5表 蒸散力(飽差:風速)

飽差	風速										
	m/s l	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
mb. 1	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.5	2.7	2.8	3.0	3.2	
2	2.0	2.8	3.5	4.0	4.5	4.9	5.3	5.7	6.0	6.3	
3	3.0	4.2	5.2	6.0	6.7	7.4	8.0	8.5	9.0	9.5	
4	4.0	5.6	6.9	8.0	9.0	9.8	10.6	11.3	12.0	12.6	
5	5.0	7.1	8.7	10.0	11.2	12.3	13.3	14.2	15.0	15.8	
6	6.0	8.5	10.4	12.0	13.4	14.7	15.9	17.0	18.0	19.0	
7	7.0	10.0	12.1	14.0	15.7	17.2	18.6	19.8	21.0	22.1	
8	8.0	11.3	13.8	16.0	18.0	19.6	21.2	22.6	24.0	25.3	
9	9.0	12.1	15.6	18.0	20.2	22.1	23.9	25.5	27.0	28.4	
10	10.0	14.1	17.3	20.0	22.4	24.0	26.5	28.3	30.0	31.6	
11	11.0	15.5	19.0	22.0	24.6	27.0	29.2	31.1	33.0	34.8	
12	12.0	16.9	20.8	24.0	26.9	29.4	31.8	34.0	36.0	38.0	
13	13.0	18.3	22.5	26.0	29.1	31.9	34.5	36.8	39.0	41.1	
14	14.0	19.7	24.2	28.0	31.4	34.3	37.1	39.6	42.0	44.2	
15	15.0	21.2	26.0	30.0	33.6	36.8	39.8	42.5	45.0	47.4	
16	16.0	22.6	27.7	32.0	35.8	39.2	42.4	45.3	48.0	50.6	
17	17.0	24.0	29.4	34.0	38.1	41.7	45.1	48.1	51.0	53.7	
18	18.0	25.4	31.1	36.0	40.3	44.1	47.7	50.9	54.0	56.9	
19	19.0	26.7	32.9	38.0	42.6	46.6	50.4	53.8	57.0	60.0	
20	20.0	28.2	34.6	40.0	44.8	49.0	53.0	56.7	60.0	63.2	
21	21.0	29.6	36.3	42.0	47.0	51.5	55.7	59.4	63.0	66.4	
22	22.0	31.0	38.1	44.0	49.3	53.9	58.3	62.3	66.0	69.5	
23	23.0	32.4	39.8	46.0	51.5	56.0	61.0	65.1	69.0	72.7	
24	24.0	33.8	41.5	48.0	53.8	60.0	63.6	67.9	72.0	75.8	
25	25.0	35.3	43.2	50.0	56.0	62.5	66.3	70.8	75.0	79.0	
26	26.0	36.7	45.0	52.0	58.2	65.0	68.9	73.6	78.0	82.2	
27	27.0	38.1	46.7	54.0	60.5	67.5	71.6	76.4	81.0	85.3	
28	28.0	39.5	48.4	56.0	62.7	70.0	74.2	79.2	84.0	88.5	
29	29.0	40.9	50.2	58.0	65.0	72.5	76.9	82.1	87.0	91.6	
30	30.0	42.3	51.9	60.0	67.2	75.0	79.5	84.9	90.0	94.8	

注) 風速の高度は1m(稲に吹き当る風の意)

量のちがいや根の活力(断根処理)による被害発生量などについて実験した。用いた品種は極端な矮性稲であるが、これは風洞の吹出し口が小さいため草丈を制限した方が実験条件に好適だったことによる。

1975年度のフェーン処理条件について示すと第6表のようになる。なお水稻の栽培条件は、あらかじめ実験用小型苗箱(15×6×10cmに4月14日播種、施肥量は苗代配合3g(8,8,8))で育苗しておいた5葉苗を5月24日3株ずつ実験用小型苗箱に移植し、1/5000aポットに入れ吸水させ、そのままガラス室(窓開放)で栽培した。施肥量は、標肥区で硫安2g、過石2g、塩化1gとし、少肥区には硫安1g、過石2g、塩化1gを施用した。処理は、実

第6表 風洞実験の処理条件 (1975)

品 種 名	処 理 期	風 洞 内			処 理 時 間	野 外			条 件
		温度	湿度	風速		気温	湿度	風速	
矮稲—C	出穂期	29.6	64	3.9	夜 4時間	25.1	79	0	標肥・少肥・湛水
〃	〃	29.6	64	2.1	〃	25.1	79	0	〃
〃	〃	28.8	63	6.8	〃	24.1	83	0	〃
〃	〃	28.8	63	1.5	〃	24.1	83	0	〃
〃	〃	28.4	64	3.9	〃	24.6	74	0.6	水耕標肥・断根区
〃	〃	28.4	64	2.1	〃	24.6	74	0.6	〃
〃	〃	27.4	64	7.7	〃	24.6	74	0.6	標肥・少肥
〃	〃	26.5	68	4.5	〃	24.1	83	0	〃

験前日の17時～午前1時までの8時間水を断ち、土壤水分を均一になるようにした。また水耕栽培区は根の状態を観察できるように、小石を用いた水耕栽培であり、水耕液は1/5000aポット当りN40 (NH₄20, NO₃20) P10, K40, Fe2, Mn 0.5ppmとし、3日ごとに水耕液を交換して栽培したもので、根の活力の健全とみられたものを湛水状態のまま風洞へ搬入した。水耕断根区は水耕根の約80%の根を切断した区である。処理はそれぞれ出穂期を中心に2～3ポットずつ供試した。

処理時間は午前1時から5時までの4時間としたが、これは処理後直射光にあてると白穂が発生したとの木邨(1950)の報文から、処理後の晴天を予測してのことである。

処理温度は27～30°C、湿度60%、風速1.5～6.8m/secの段階別に設定したが測定開始時と終了時の温度差は1～1.5°Cの幅であった。また風速はあらかじめ小型ロビンソン風速計で測定し、風が均一に穂に当るように15分ごとにポットを回転させた。

2 実験結果および考察

実験結果と(3)式より算出した風洞内の蒸散力について表わすと第7表のようになる。

a) 気象要因(蒸散力)と被害程度

標肥区でみると実験Aは風洞内平均温度28.8°C、湿度63%、風速6.8m/secで、平均蒸散力38.2の処理である。フェーン処理を開始後数十分経過すると、当日開花予定とみられる籾が開花し、約2時間(積算蒸散力76)経過すると風の強く当る籾から部分白化が始まり、その後時間の経過とともに白化部分が増加し、4時間後(積算蒸散力153)では、出穂茎の63%の穂で1穂中80%以上の籾が白化して白穂となった(写真2, 3—p.43)。また1穂中50%および20%以上の籾が白化した穂はそれぞれ出穂茎の70.4%、78.0%となり、大部分の穂は白穂か部分的白化籾を含む被害が発生した。

実験Bは温度29.6°Cの高温処理であるが、風速3.9m/secと実験Aより弱く、平均蒸散力28.3の処理である。標肥区の被害は実験Aより少なく、白穂発生量58.3%であったが、50%および20%以上の白化籾を含む被害穂はほとんど同程度であった。

実験Cでは湿度と風速を実験Bと同じくし、温度を28.4°Cで処理した。供試ポットは水耕湛水栽培であったが、やはり出穂した穂の12.5%に白穂が発生した。

第7表 風洞実験による白穂発生状況

品 種 名	実験	温度	湿度	風速	蒸散力	昼夜別	処理時間	白穂発生割合	白化籾50%以上	白化籾20%以上	白化籾20%以下	栽培条件
		°C	%	m/s			時間	%	%	%	%	
矮稲—C	A	28.8	63	6.8	38.2	夜	4	63.0	70.4	78.0	96.3	標 肥
"		"	"	"	"	"	"	"	0.6	25.0	62.0	87.5
"	B	29.6	64	3.9	28.3	"	"	58.3	70.8	79.1	87.5	標 肥
"		"	"	"	"	"	"	"	16.7	25.0	33.3	58.3
"	C	28.4	64	3.9	25.8	"	"	12.5	20.8	33.3	79.2	水耕湛水
"		"	"	"	"	"	"	"	33.3	57.1	76.2	85.7
"	D	26.7	68	4.5	23.5	"	"	0	0	0	43.5	標 肥
"		"	"	"	"	"	"	"	0	0	0	26.1
"	E	28.4	64	2.1	19.0	"	"	0	0	0	0	水耕湛水
"		"	"	"	"	"	"	"	0	0	0	0
"	F	28.8	63	1.5	17.6	"	"	0	0	0	0	標 肥
"		"	"	"	"	"	"	"	0	0	0	0
短銀坊主	G	33.3	66	7.0	45.1	昼	7	0	0	0	0	標 肥

- 注) 1) 温,湿度は15分ごとに測定した平均値。
 2) 白穂は1穂中80%以上の籾が白化した穂とした。
 3) 白化籾割合は1穂中各割合の白化籾のある穂の出穂茎に対する比。

次に実験Dは、温度、湿度をそれぞれ26.7°C、68%の低温、多湿としたが、風速を4.5m/secと実験B、Cより強く、平均蒸散力23.5の処理である。しかし4時間後でも白穂は発生せず、わずかに白化籾20%以下の被害にとどまった。

実験E、Fの温度は28.4°C、28.8°Cで、実験Aと同程度であるが、風速が2.1m/sec、1.9m/secと弱いため、白化籾は発生しなかった。

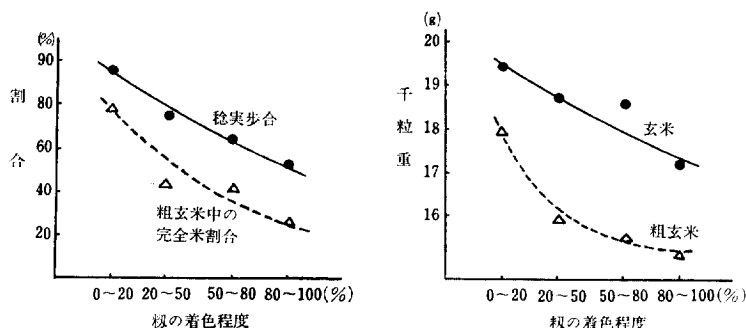
以上は夜間処理であるが、実験Gは参考のため昼間処理の結果について示したものである。これは1973年に短銀坊主を用い、風洞内温度33°C、湿度66%、風速7m/secで平均蒸散力45.1と強い処理であったが、7時間の処理でも白化籾の発生は認められなかった例である。

b) 栽培条件による被害量の差異

少肥区の被害量は第7表にみられるように、各実験結果とも標肥区より少なく、特に実験Aで明瞭であった。しかし実験Bでは平均蒸散力28.3と、実験Aのそれより少ないが、白穂の発生量は多くなった。この原因は処理温度が29.6°Cと高いことによるものと考えたが、明らかにできなかった。

水の有無および根の活力と被害発生についてみると実験Cのような結果となり、水耕栽培で根の活力の健全とみられた水稲の湛水状態でも、蒸散力25.8の4時間処理で出穂茎の12.5%に白穂が発生した。しかし白穂の発生する時間は、実験Aなどに比べ遅れる傾向となった。断根区の被害量は多く、4時間処理で出穂茎の33.3%に白穂が発生し、白化籾20%以上の籾を含む穂は出穂茎の76.2%にも達した。

処理期間中に開花した籾や、白化籾は必ずしも不稔籾とはならず、その被害程度にもよるがかなり稔実する。しかし白化籾の大部分は成熟期に着色籾となる。第6図はこの着色籾の



第6図 穂の着色程度と被害

登熟について調査した結果であるが、図のように着色穂は着色米の増加や、千粒重が低下して減収の原因となっている。

c) 処理後の日射と白穂発生について

処理後に直射光にあてる計画で、天気の良い日を選んで実験日としたため、実験日はいずれも雲量0~4の快晴か晴であった。しかし白化穂は処理時間の増加とともに増し、徐々に白穂に移行する経過をたどり、処理後の直射光で白化部分が目立つようになるが、直射光により一斉に白穂になるような事例は認められなかった。また処理の前日はいずれも晴天日であり、前日の天気と白穂の発生については考察できなかった。

d) 過去の被害発生日の気象要因について

過去北陸地域で発生して被害が問題となったフェーンは、(3)式で算出した蒸散力を適応させてみると、1969年に富山県に3,000haの白穂被害が発生したフェーン日の夜間平均蒸散力は21、1972年に新潟県で登熟不良が発生したフェーン日の夜間平均26.2などがあり、夜間平均蒸散力20以上、すなわち気温29°C、湿度60%、高度1mの風速が2~3m/sec以上で被害が発生している。

e) 考 察

北陸地域におけるフェーンによる白穂被害の発生は、実験結果および過去の被害発生例から夜間1時間当たり平均蒸散力20~25(具体的にいうと、気温28°C、湿度60%、高度1mでの風速2~3m/sec)以上で発生し、蒸散力30(気温28°C、湿度60%、高度1mでの風速4m/sec)程度の状態が数時間つづく被害が発生するといえる。これは木邨(1951)の指摘した温度範囲より高温であるが、北陸地域の出穂期が盛夏の7月中旬~8月上旬であり、気温が高く普通日の夜間平均(18時~翌朝6時)でも25~26°Cの条件となるためであり、白穂の発生には湿度、風速の要因が大きく関与しているとみられた。またフェーンによる白化穂や白穂発生の程度は、栽培条件(たとえば、施肥量の多少や、根の状態、水の有無)によって差がみられたが、これはフェーンによる水稻の被害防止を示唆しているものとする。

以上は特殊な短稈品種を使用しての実験結果を中心に考察を進めたものであり、一般に栽培されている品種について反復試験を実施する必要がある。また水稻の栽培管理による被害発生量の差異については、さらに研究を進めたい。

V 摘 要

フェーンによる水稲被害は、北陸地域における代表的な気象災害である。そこで被害防止の観点から、過去に発生したフェーンの気象要因を解析し、さらに風洞施設を用いて実験的にフェーン害を再現し、水稲の白穂被害発生に対する気象要因について検討した。

1 フェーンによる水稲被害は、出穂期から登熟初期に遭遇した場合に特に大きいので、北陸地域のこの時期である7～8月のフェーンを対象に考察した。

2 フェーンの発生には低気圧の存在が必須条件となるが、北陸地域で発生する大部分のフェーンは、日本海西部に侵入した台風や、熱帯性低気圧が北上中に、太平洋上の高圧帯から南風の吹き込みの形となる。

3 フェーンに関する過去の記録は少なく、発生数を正確に知ることはむずかしいが、原因となる台風の数などとの関連で7～8月に1～2回とみられる。

4 フェーン時の気象特徴についてみると、

a) 気温は平年値より4～5°C高く、34～35°Cの高温も測定され、日較差は少なく、夜間に30°C以上の高温を示すこともある。

b) 北陸地域の夏季の湿度は高く、日平均約80%であるが、フェーン時には40～50%に低下し、日較差が少なく、夜間も乾燥状態で経過する。

c) 北陸地域の夏季の風速は、平均的には昼間2～4 m/sec、夜間0～1.5 m/sec程度であるが、フェーン発生時には7 m/sec以上になる場合も少なくない。風向は南方向である。

5 フェーンによる水稲被害の顕著なものは、白穂被害の発生である。この白穂の発生は、稲の生育時期とフェーンの強度によって決定される。フェーンの強度は蒸散力 $Q=(E_s-e)\sqrt{U}$ で表わされている。過去のフェーン時の強さを蒸散力で表わし、白穂発生との関係を見ると、夜間平均蒸散力 Q の値が20～25を超えると白穂が発生するといえる。風洞実験の結果では、 $Q=30$ 以上の条件が数時間つづくとき、白穂が発生することを認めた。

引 用 文 献

1. 井上栄一・谷 信輝 (1952)：耕地風の測定。農業気象 7, 48—50。
2. 金川修造 (1963)：台風条件下における稲田面上の風速垂直分布の測定。宮崎農試研報 2, 52—65。
3. 木邨 勇 (1950)：水稲の乾風害（白穂）について。農業気象 5, 133—136。
4. ——— (1951)：水稲の乾風害（白穂）について（続報）。農業気象 6, 111—113。
5. 小山 博 (1971)：ことしの異常気象。気象 176, 3154—3160。
6. 栗田義郎・河合一郎 (1949)：アイオン台風による水稲の白穂発生機構について。農業気象 5, 95—98。
7. 松尾孝嶺・坪井八十二・角田重三郎 (1951)：台風による稲白穂の発生とその品種間差異（第1報）。農業気象 6, 107—110。
8. 中村豊徳・志手駒男 他 (1955)：台風12号による水稲白穂の発生と減収機構について。農林省統計調査部試験研究資料 17（気象感応基礎試験研究成績第7報），35—75。

9. 中山 清・張 中 (1963): フェーン風害による水稲被害について. 農作物被害調査と研究 17, 60—63.
10. 野田昌治・藤田米一・木村健治 (1973): 新潟県における昭和47年産水稲の減収要因. 北陸作物学会報 8, 24—27.
11. 岡田武松 (1929): 気象学. 618—623, 岩波書店 東京.
12. 柴崎健一 (1956): 北陸フェーンの調査 (3報). 昭和31年度北陸地方気象研究会報告 1—10.
13. 志茂山貞二 (1959): 風害による水稲の生理的減収機構について. 農業気象 15, 1—9.
14. 品川浩清・戸村 勝・一村英雄 (1957): 水稲の出穂期前後における台風被害と収量構成要素との関係. 農林省統計調査部試験研究資料 19 (気象感応基礎試験研究成績第9報上巻), 416—420.
15. 谷 信輝 (1960): 耕地上の風の測定結果について. 農業気象 16, 89—93.
16. 田崎順郎 (1959): 小豆花粉発芽に及ぼすフェーンの影響について. 農業気象 14, 91—95.
17. 富山地方気象台 (1969): 8月気象概況. 富山県農業気象月報, 昭和44年8月, 4—5.
18. ——— (1970): 7月気象覚書. 富山県農業気象月報, 昭和45年7月, 7—8.
19. 坪井八十二・氷高信雄 (1958): 水稲の風害に関する研究; 不受精の原因について. 日作紀 27, 207—209.
20. 角田重三郎・橋高昭雄 (1952): 台風による稲白穂の発生とその品種間差異—第2報 抵抗性を異にする稲品種の諸特性について. 日作紀 21, 185—186.
21. 安武一夫・平城俊文 (1941): 水稲出穂期における乾風被害調査成績. 農及園 16, 807—814.

The Occurrence and Damage to Paddy-field Rice by Foehn in the Hokuriku District, Japan

by

Kensei MURAMATSU

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

Summary

Foehn damage to rice plants is one of the most important climatic disasters in the Hokuriku region where it has often attacked the rice area on the Japan-Sea side; especially Toyama, Ishikawa, Fukui and Niigata Prefecture.

Some results of the meteorological analysis on the foehn were reported for farther advancement to avoid damage.

1. The analysis of foehn was limited to the Summer Season because most rice plants come to a heading stage during July and August in the Hokuriku region. Also a more sensitive stage of rice plants to foehn damage has been known to be the young panicle stage immediately after heading.

2. Generally, it could be said of the climatic mechanism of foehn occurrences that an existence of a depression is essential to develop the foehn. In the Hokuriku region foehn was caused by a hot blowing wind, cause created by a high atmospheric area in the Pacific Ocean. Though these winds were absorbed by depression accompanied by a typhoon or tropical storm moving from south to north on the west side of the Japan-Sea during July and August.

3. Therefore the frequency of the foehn must be estimated by the data on the number of Typhoons during the Summer Season. As the results, it could be estimated that foehn occurred twice during July and August.

4. The results of the analysis of main meteorological factors in relation to foehn phenomenon are as follows:

1) The air temperature shifted to higher than usual during foehn occurrence. Sometimes highs of 34-35°C have been recorded and a diurnal range of temperature became rather less.

2) One of the climatic feature in the Hokuriku region is to have rather high air humidity with an average in the summer of around 80%. However, during foehn occurrence, it dropped to 40-50% along with both of its less diurnal range

and relative dry state at night.

3) In meteorological records in the Hokuriku region, an average wind strength in the summer is measured of 0-1.5m/sec, 2-4m/sec in the night and day respectively. However, in the case of the foehn occurrence it has often been recorded more than 7 m/sec blowing from a southern direction.

5. Typical foehn damage to rice plants is seen as white-head in the heading stage. The grade of the damage depends on the combining of the foehn magnitude and panicle age. The grade of the foehn can be expressed by means of the formula, $Q = (E_s - e)\sqrt{U}$, where Q , E_s , e , and U indicates a degree of total vapour, a saturation vapour pressure, water vapour pressure and wind strength respectively.

It can be concluded then that on the relation between the Q value and the degree of the white-head, the Q value of 20-25 at night seems to be a limit line which causes the white-head under natural foehn. However, in the experiment of the wind tunnel device, the white-head damage developed distinctively under the Q value of 30 for several hours at night.

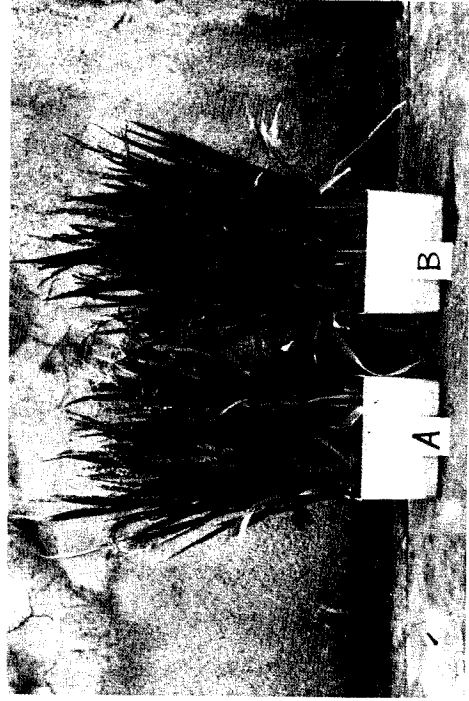


写真3 風洞実験(標肥) A…フェーン処理 B…無処理

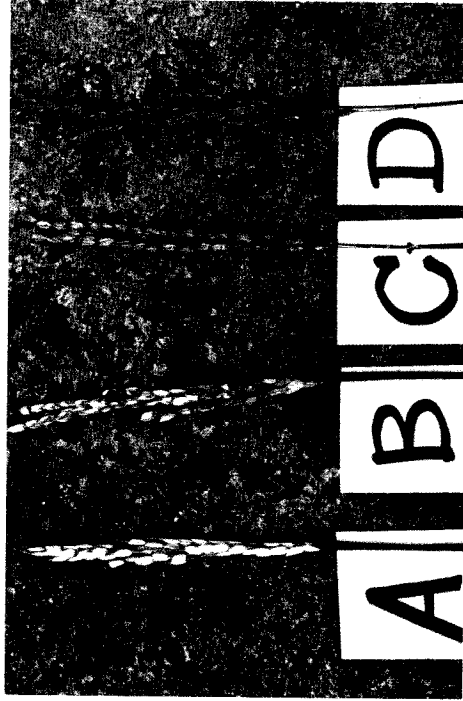


写真4 同上処理による白穂被害 A…白穂 B…80%白化粒 (部分白化含) C…50%白化粒 (部分白化含) D…無処理

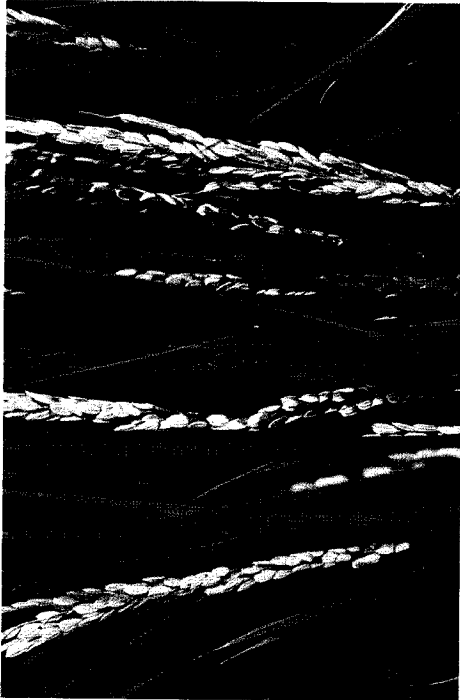


写真1 フェーンによる白穂被害(遭遇直後)

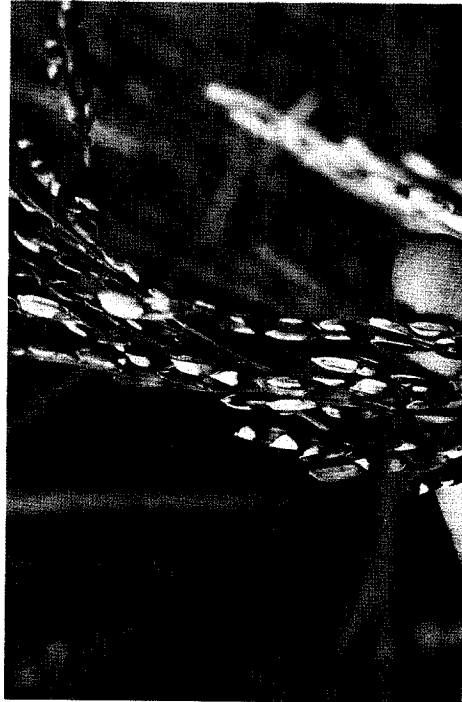


写真2 フェーンによる着色粒

