

研究論文

栽培

水稻稈長の年次変動とそれに関与する要因

佐々木良治^{1)*}・堀江武²⁾・鳥山和伸¹⁾・柴田洋一¹⁾

(¹⁾農業技術研究機構・²⁾京都大学)

要旨: 水稻品種コシヒカリ、越路早生およびキヌヒカリを同様の肥培管理で栽培して得られた 1988 年から 1994 年の生育データを用いて、稈長の年次変動とそれに関与する要因を解析した。コシヒカリや越路早生では、成熟期の稈長は穂首分化期頃の葉面積指数 (LAI) と有意な正の相関関係が認められ、短稈性の遺伝特性を有するキヌヒカリにおいても比較的高い正の相関関係が認められた。そして、稈長の増大には、下位節間の伸長増大が関与していると推測された。穂首分化期頃の LAI に対する稈長の回帰直線の傾きには、品種間差が認められた。コシヒカリや越路早生の回帰直線の傾きは、それぞれ 11.4 cm/LAI と 16.1 cm/LAI であったが、いずれもキヌヒカリ (5.3 cm/LAI) よりも明らかに大きく、下位節間や稈の伸長に対する LAI の影響はキヌヒカリの方が低いという結果を得た。また、穂首分化期頃の SPAD 値と成熟期の稈長との間にも正の相関関係が認められたが、その傾向はキヌヒカリよりもコシヒカリや越路早生の方が明瞭であった。つぎに、穂首分化期頃の LAI の年次変動要因を検討したところ、LAI は窒素吸収量の差異を反映したことによると推察された。そして、穂首分化期頃の LAI は水田湛水前約 1 ヶ月間の春期の積算降水量と関連し、降水量が少ない年には乾土効果発現量が多く、その結果土壌窒素供給量が増加し、穂首分化期の葉面積指数を増大させた可能性が強く示唆された。

キーワード: 稈長、乾土効果、降水量、水稻、節間伸長、倒伏、葉面積指数、葉緑素計。

窒素施肥の時期と量との組合せによる生育制御技術は、水稻栽培技術の根幹をなすものであり、これまでに数多く研究がなされてきた。特に、幼穂分化期以降の窒素施肥は、収量器官を増大させるので収量の向上が図れるが、反面、群落の繁茂度を高め、倒伏を助長する栽培上の欠点もある。したがって、この時期の窒素施肥管理では、収量器官の増大を図りつつ倒伏を招かないような施肥体系が重要となる。

上位葉身と下位節間との間に同時伸長性があることは、瀬古 (1962) や川原ら (1968 a) によって明らかにされた。そして、松島 (1973) は、この同時伸長性にもとづいて、イネの草姿を理想型に制御する理論と技術、いわゆる「理想稲稲作」を提示した。しかしながら、「理想稲稲作」と異なる施肥法でイネを栽培した場合、上位葉身は伸びるが下位節間は伸びないとする報告があり (橋川 1986, 上地ら 1993, 松葉・佐々木 1997, 松葉 2000), 節間伸長期における窒素施肥管理技術に関して更なる検討の必要性が指摘されている。

一方、同一施肥管理でイネを栽培した場合でも、年次間で群落の繁茂度が異なるだけでなく、稈長にも比較的大きな差異が生じ、そのことが倒伏の年次間差をもたらす原因となっている。下位節間の伸長程度は、稈基部の光環境によって影響され、光環境が悪化すると下位節間がより伸長すると報告されている (児嶋・古谷 1988, 上地ら 1993)。したがって、同一施肥管理で認められる稈長の年次間差には、気温や日射量等の気象環境や群落の繁茂度が関与する

と推測される。

そこで本報告では、毎年同様の施肥・栽培条件で栽培し、水稻の生育や収量に及ぼす気象の影響を解析するために得られたデータ (以後、作況基準試験データと記す) を用い、稈長の年次変動の状況や倒伏との関係を解析し、さらに稈基部の光環境に影響を及ぼす葉面積指数に着目して、稈長の年次変動の要因を検討するとともに、気象環境の影響について検討した。

材料と方法

1. 作況基準試験データの解析

(1) 供試データ

北陸農業試験場栽培生理研究室が、水稻品種コシヒカリ、越路早生ならびにキヌヒカリを材料として作況基準試験を行って得た生育に関する調査データを供試した。具体的には、コシヒカリと越路早生は 1988 年から 1994 年までの 7 カ年のデータを、キヌヒカリは 1989 年から 1994 年までの 6 カ年のデータを供試した。いずれの年も北陸農業試験場内の同一水田 (細粒質強グライ土) で栽培しており、各品種の施肥設計は第 1 表に示すとおりであった。1988 年と 1989 年は、施肥基準の見直し等により窒素施肥量が若干異なっているが、1990 年以降は各品種の施肥設計は同一である。1990 年以降でみると、総窒素施肥量はキヌヒカリが 10.5 g m^{-2} と最も多く、越路早生が中間で 9.0 g m^{-2} 、コシヒカリが最も少なく 8.0 g m^{-2} であった。コシヒカリと越路早生では、基肥の他に収穫期の約 20 日前と

第1表 施肥量 (窒素成分量, g m^{-2}) と施肥時期.

| 施肥 | コシヒカリ | | | | 越路早生 | | | キヌヒカリ | | |
|--------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|-------|
| | 1988年 | 1989年 | 1990-1994年 | 施肥時期 | 1988年 | 1989-1994年 | 施肥時期 | 1989年 | 1990-1994年 | 施肥時期 |
| 基肥 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | — | 4.0 | 4.0 | — | 5.0 | 4.0 | — |
| 中間追肥 | — | — | — | — | — | — | — | 2.0 | 2.0 | -35.8 |
| 穂肥 I | 3.0 | 1.5 | 1.0 | -20.9 | 3.0 | 1.5 | -20.0 | 1.5 | 1.5 | -21.8 |
| 穂肥 II | — | 1.5 | 1.0 | -9.5 | — | 1.5 | -9.2 | 1.5 | 1.0 | -11.0 |
| 穂揃い期追肥 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | +2.7 | 3.0 | 2.0 | +2.0 | 2.0 | 2.0 | +1.8 |
| 計 | 9.0 | 8.0 | 8.0 | | 10.0 | 9.0 | | 12.0 | 10.5 | |

施肥時期は出穂期を基準とした平均日数で示した.

いずれの年次においても, リン酸 (P_2O_5) とカリ (K_2O) を各 6 g m^{-2} , 堆肥を 500 g m^{-2} 施用した.

約10日前に穂肥を, 出穂期の2, 3日後に穂揃い期追肥を行っている. また, キヌヒカリでは, これらの施肥の他に, 出穂期の平均約36日前に中間追肥を行っている.

移植日は, 1992年が5月14日, 1989年から1991年が5月15日, そして1988年, 1993年および1994年は5月16日であった. 移植した苗は, 慣行法により箱育苗した稚苗である. いずれの年も田植機によって機械移植 (1988年のみ手植え) し, 栽植密度は $18.5 \sim 22.2 \text{ 株 m}^{-2}$ であった. 各品種とも群落内の4地点の各10株を調査地点とし, 調査対象とした株は手植えにより1株5本の苗を移植した.

(2) データの解析方法

生育データのうち, 葉齢, 葉面積指数, SPAD値, 稈長および倒伏度 (倒伏の程度を0~5段階で評価し, 数字が大きいほど倒伏程度が大きい) を用いて解析した. なお本報告では, 葉面積指数やSPAD値と稈長との関係を解析する際に, 補葉齢 (主稈総葉数-葉齢) (後藤ら1990) によりイネの生育ステージを表記した. このことにより, 栽培年次の異なるデータに対しても, 既往の研究報告を参考にして, 穂首分化期や各節間の伸長期等を対応させることができる考えたからである.

葉齢は, 各地点2~3株について1週間ごとに調査したデータである. 移植後日数と葉齢とを出葉速度の転換点で分けて2本の直線で回帰し, 回帰直線から任意の葉齢に対する移植後日数を求めた. 葉面積指数は, 移植後21日目, 42日目, 最高分けつ期, 幼穂形成期, 出穂期および出穂期15日後のデータを用いた. 各時期における葉面積指数は, 別途行った茎数調査の結果に基づき, 平均的な4株について測定した値である. 調査日間の葉面積指数は, 幼穂形成期以前に関してはデータ間を直線で補間し, 幼穂形成期から出穂期までは, 幼穂形成期, 出穂期および出穂期15日後のデータに2次曲線を当てはめ, 回帰式より葉面積指数を推定した. SPAD値は, 葉緑素計 (ミノルタ (株), 1988~1989年はSPAD-501を, 1990~1994年はSPAD-502を使用) による読み取り値であり, 主茎の完全展開葉について1週間ごとに40株について計測した値である. 調査日間のSPAD値は, データ間を直線で補間

することにより求めた. なお稈長は, 成熟期に40株について各株の最長茎を調査している.

2. 窒素吸収量と葉面積指数との関係

1987年と2000年に, 北陸農業試験場の水田 (細粒質強グライ土) において, 水稻品種コシヒカリを供試して栽培を行った.

1987年の実験 (鳥山1994) では, 乾土効果による土壤窒素発現量と生育量との関係を検討することを目的として, 隣接した圃場に乾燥区 (150 m^2) と非乾燥区 (150 m^2) を設け, さらに各々を2分割し, 基肥として窒素を施用する区 (窒素施用区) と窒素を施用しない区 (無施用区) を設けた. 各試験区とも反復は設けなかった. 乾燥区は4月24日に耕起し, 自然条件下で乾燥させた (湛水日までの15日間の積算降水量は 30 mm , 1 mm 以上の降水量のあった日は3日であった). 非乾燥区は, 土壤の乾燥程度をより少なくするために湛水前日の5月8日に耕起した. 5月9日に湛水して施肥, 代かきを行った後, 5月19日に慣行法で育苗した中苗を手で移植した. 栽植密度は 18.5 株 m^{-2} ($30 \times 18 \text{ cm}$), 1株3本植とした. 基肥には N , P_2O_5 , K_2O をそれぞれ $3, 7, 7 \text{ g m}^{-2}$ を5月11日に施用した. 6月15日から1週間ないし2週間毎に生育調査を行い, 平均茎数の稲株10株 (6月15日のみ) ないし4株を抜き取り, 葉面積を葉面積計 (林電工社製) で測定した. 通風乾燥後に乾物重を測定し, ケルダール分解法により窒素含有率を測定した. なお, 本報告では, 出穂23日前 (7月13日) までの結果を用いた.

2000年の実験では, 基肥窒素量の多少と生育量との関係を検討することを目的として, 同一圃場内に基肥窒素量を $0, 2, 4, 6 \text{ g m}^{-2}$ とした試験区を設けた. また, すべての試験区に P_2O_5 と K_2O をそれぞれ $8.0, 7.2 \text{ g m}^{-2}$ を施用した. 試験は1区 38.4 m^2 とし2反復で行った. 施肥は5月12日に行い, 同日に耕起と湛水を行った. そして, 代かきをした後, 5月19日に慣行法で育苗した稚苗を機械移植した (栽植密度 18.0 株 m^{-2} , 植え付け本数は平均 4.6 本/株). 6月23日, 6月28日, 7月5日ならびに7月10日の計4回, 各試験区から稲株8株 (2条 \times 4株) を無

第2表 出穂期と成熟期の稈長 (cm).

| 栽培 年次 | コシヒカリ | | 越路早生 | | キヌヒカリ | |
|----------|-------|------|------|------|-------|------|
| | 出穂期 | 稈長 | 出穂期 | 稈長 | 出穂期 | 稈長 |
| 1988 | 90 | 95.0 | 81 | 87.4 | — | — |
| 1989 | 88 | 90.5 | 80 | 85.3 | 91 | 78.5 |
| 1990 | 83 | 94.0 | 74 | 84.0 | 83 | 78.0 |
| 1991 | 82 | 95.4 | 72 | 83.5 | 81 | 82.3 |
| 1992 | 85 | 87.5 | 79 | 82.1 | 87 | 78.7 |
| 1993 | 91 | 94.8 | 83 | 80.9 | 96 | 77.9 |
| 1994 | 79 | 97.4 | 72 | 96.6 | 80 | 86.8 |
| 平均 | 85.4 | 93.5 | 77.3 | 85.7 | 86.3 | 80.4 |
| CV (%) | 5.2 | 3.6 | 5.9 | 6.1 | 7.2 | 4.4 |

出穂期は移植後日数で示した。1992年は5月14日に、1989～1991年は5月15日に、1988年、1993年および1994年は5月16日に移植した。

作為に選定し、抜き取った後は1987年と同様に葉面積、乾物重ならびに窒素含有率を測定した。

結果と考察

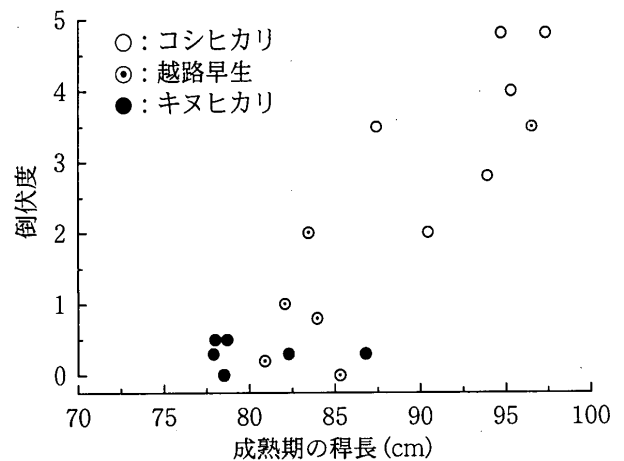
1. 稈長の年次変動と倒伏度

コシヒカリの稈長は、いずれの年も越路早生やキヌヒカリより長く、平均値は93.5 cmであった(第2表)。一方、越路早生とキヌヒカリを比較すると、いずれの年も越路早生の方が長く、両品種の稈長の平均値は、それぞれ85.7 cmと80.4 cmであった。第1表に示したように同様の施肥条件で栽培しても稈長の年次間差は大きく、越路早生で最大15.7 cm(変動係数CV=6.1%)に達し、年次間差が小さかったキヌヒカリでも8.9 cm(CV=4.4%)であった(第2表)。

つぎに、稈長と倒伏度との関係をみると(第1図)、稈長が最も短かったキヌヒカリでは稈長の年次間差が小さく、また倒伏度は平均約0.3と低いことから、稈長と倒伏度との間に相関関係は認められなかった。一方、コシヒカリと越路早生は、稈長の増加にともなって倒伏度が高まる傾向が認められた。以下では、稈長の年次変動の要因について検討する。

2. 節間伸長期の気温ならびに日射量と稈長との関係

八柳・竹内(1960)は、節間伸長に与える温度の影響を検討し、上位3節間は低温による抑制が大きいのに対し、下位節間(第IVからVI節間)は低温による抑制は小さいが、適温を超えるわずかな高温でも伸長率は高くなるとしている。そこで、節間伸長の始期を補葉齢3.0、その終期を出穂期後3日目(瀬古1962)とし、この間の日平均気温の平均値を求め、成熟期の稈長との相関係数を算出した(第3表)。本報告では、1988年から1994年の作況基準試験データを供試材料としたが、1993年は北海道や東北地方を中心に冷害の被害が大きかった年であり、逆に1994年は高温・多照により各地で水不足が問題となった年



第1図 成熟期の稈長と倒伏度との関係。

3品種とも1989～1994年のデータを示す。倒伏度は0～5で表し、数字が大きいほど倒伏程度は大きい。3品種の相関係数は、コシヒカリが0.598、越路早生が0.808、キヌヒカリが-0.076であった。いずれの相関係数も5%水準で有意ではない。

第3表 節間伸長期の日平均気温ならびに日射量と成熟期の稈長との相関係数。

| 品種 | 日平均気温 | 日射量 |
|-------|-------|--------|
| コシヒカリ | 0.189 | -0.092 |
| 越路早生 | 0.712 | 0.498 |
| キヌヒカリ | 0.486 | 0.100 |

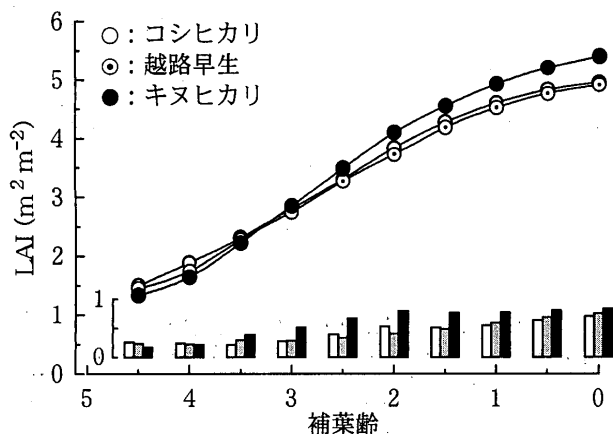
コシヒカリと越路早生は1988～1994年の7カ年、キヌヒカリは1989～1994年の6カ年の相関係数を示す。節間伸長期は、補葉齢3.0到達日から出穂期後3日目までとし、この間の日平均気温ならびに日射量の平均値と成熟期の稈長との相関係数を算出した。相関係数はいずれも5%水準で有意ではない。

である。このような特徴は、節間伸長期の平均日平均気温にも認められ、1993年が23.0～23.1℃で最も低く、1994年は25.7～26.4℃で最も高かった。節間伸長期の平均日平均気温と成熟期の稈長は、越路早生では5%水準で有意ではないが比較的高い正の相関関係($r=0.712$)が認められた(第3表)。しかし、キヌヒカリやコシヒカリでは相関係数は低く、節間伸長期の気温と稈長との関連は認められなかった。また、節間伸長期の日射量と稈長との関係についても同様に検討したが、いずれの品種においても有意な相関関係は認められなかった(第3表)。

3. 生育時期別の葉面積指数およびSPAD値と成熟期の稈長との関係

(1) 葉面積指数

水稻の下位節間の伸長が、光環境によって影響されるとする報告は、松田ら(1984)、上地ら(1993)、児嶋・古谷(1988)によってなされている。また、北條・小田(1967)は大麥で、川原・和田(1968b)は水稻で、Oikawa and Monsi(1969)はヒマワリで節間伸長に対する光の重要性



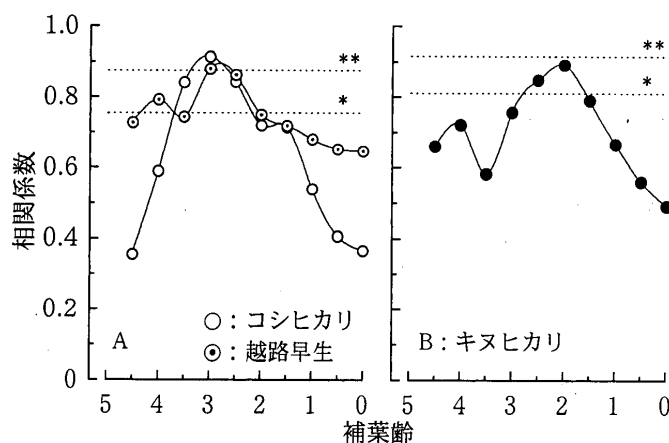
第2図 平均葉面積指数 (LAI) の推移。

栽培年次毎に各生育段階における葉面積指数の推定値を算出し、年次間の平均値ならびに標準偏差を示した。葉面積指数の推定法は本文参照。コシヒカリと越路早生は1988～1994年の、キヌヒカリは1989～1994年の平均値である。図中の縦棒は標準偏差の大きさ（左から順にコシヒカリ、越路早生、キヌヒカリ）を示す。

を指摘している。そこで本報告では、群落基部の光環境に強く影響を及ぼす葉面積指数に着目し、異なる生育段階における葉面積指数と成熟期に調査した稈長との関係を相関分析によって解析した。

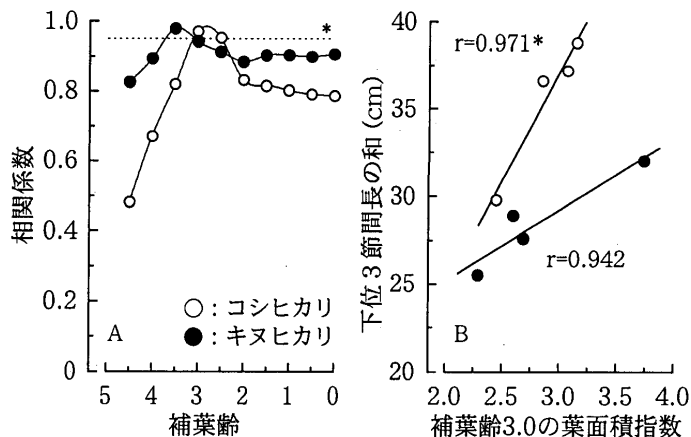
葉面積指数の年次間の平均値を第2図に示した。補葉齢4.5の葉面積指数は、コシヒカリと越路早生との間に差はほとんどなく $1.45 \sim 1.49 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ であったのに対し、キヌヒカリの葉面積指数は、コシヒカリや越路早生に比べて若干低く $1.34 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ であった。しかし、補葉齢3.0では品種間差がほとんどなく $2.75 \sim 2.85 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ の範囲内にあった。したがって、補葉齢4.5から補葉齢3.0までの1.5葉期間に、葉面積指数は2倍弱増加したことになる。その後は、キヌヒカリが若干高く経過したが、3品種間の差は $0.21 \sim 0.49 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ の範囲内で推移した。

つぎに、異なる生育段階における葉面積指数と成熟期の稈長との間の相関係数を求め、第3図に示した。なお、キヌヒカリは、中間追肥（補葉齢3.2頃）を施用したことから、別図（第3図B）に示した。コシヒカリと越路早生では（第3図A）、補葉齢3.0において最も高い有意な相関係数（コシヒカリで0.914**、越路早生で0.879**）を示した。しかし、両品種とも相関係数は補葉齢3.0以降低下し、補葉齢2.0ないし1.5以降は5%の有意水準以下で推移した。補葉齢3.0は、コシヒカリで出穂期の平均33.0日前、越路早生では27.3日前であった。葉齢指数（松島1960）を用いて穂首分化期（葉齢指数76）を補葉齢に対応させると、コシヒカリ、越路早生ともに補葉齢3.3に相当した。つまり、これら両品種における稈長の年次変動には、穂首分化期頃を中心とした時期の葉面積指数が強く関与したと考えられる。この点に関連して、上地ら（1993）は、下位3節間長の和は、穂首分化期の葉面積指数との間に正の相関関係があると報告している。金ら（1995）は本



第3図 異なる生育段階における葉面積指数と成熟期の稈長との間の相関係数の推移。

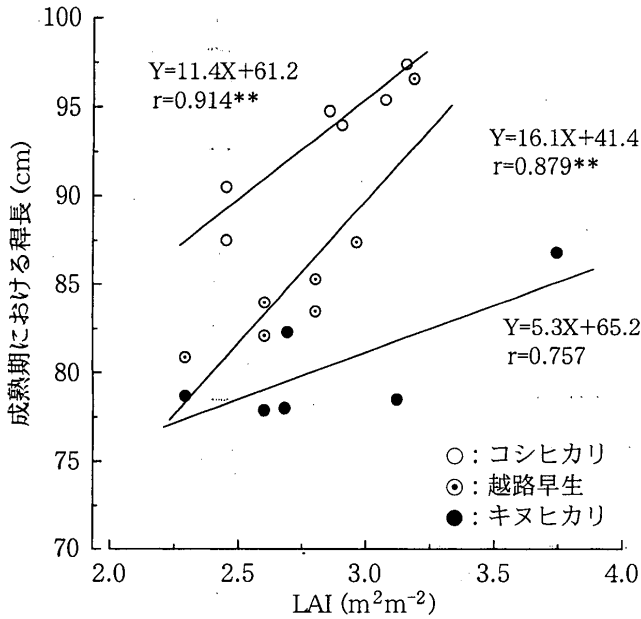
コシヒカリと越路早生は1988～1994年の7カ年、キヌヒカリは1989～1994年の6カ年の相関係数を示す。図中の点線は相関係数の有意点を示し、*と**は、それぞれ5%と1%水準を示す。



第4図 異なる生育段階における葉面積指数と下位3節間長の和との間の相関係数の推移 (A) ならびに補葉齢3.0における葉面積指数と下位3節間長の和との関係 (B)。

金ら（1995）は、本報告と同一材料（1991～1994年）について成熟期におけるコシヒカリとキヌヒカリの各節間長を報告しており、その報告から下位3節間長（第III～V節間、ただし穂首節間を第I節間とする）の和を算出した。図B中の回帰直線は、コシヒカリが $Y = 12.3X + 0.1$ 、キヌヒカリが $Y = 4.1X + 17.0$ である。*は5%水準で有意であることを示す。

報告の供試材料のうち、1991年から1994年の4カ年分についてコシヒカリとキヌヒカリの成熟期における各節間長を報告している。そこで、本報告で求めた各生育段階における葉面積指数と、金ら（1995）の報告から算出した下位3節間（第IIIからV節間、ただし穂首節間を第I節間とする）長の和との間の相関係数を求め、その推移を第4図に示した。コシヒカリは、補葉齢3.0から2.5の葉面積指数と下位3節間長の和とが有意な正の相関関係 ($r = 0.971^*$ から 0.953^*) を示した（第4図A）。したがって、コシヒカリにおける稈長の年次変動には、穂首分化期頃の葉面積指数が密接に関連し、この時期に葉面積指数が高い年には下位節間長が増大し、その結果稈長も増大したと推



第5図 補葉齢3.0における葉面積指数(LAI)と成熟期における稈長との関係。

**は1%水準で有意であることを示す。

測される。なお、越路早生に関しては、穂首分化期頃の葉面積指数と下位節間長とを関連付けるデータが見あらず、今後の検討が必要である。

一方、キヌヒカリにおいても成熟期の稈長は、補葉齢3.0の葉面積指数と有意ではないものの高い正の相関関係($r=0.757$)が認められた。しかし、相関係数は補葉齢2.5($r=0.848^*$)ないし補葉齢2.0($r=0.892^*$)で5%の有意水準に達し、コシヒカリや越路早生とは傾向が異なった(第3図B)。第4図Aに示すように、キヌヒカリにおいても、補葉齢3.5から3.0の葉面積指数と下位3節間長の和とが高い正の相関関係($r=0.979^*$ から 0.942)を示した(第4図A)。そして、葉齢指数(松島 1960)により、キヌヒカリにおける穂首分化期を補葉齢に対応させると補葉齢3.3に相当した。したがって、キヌヒカリについてもコシヒカリと同様に、穂首分化期頃に葉面積指数が高い年は、下位節間の伸長が増大し、稈長が長くなる傾向にあったと推察される。

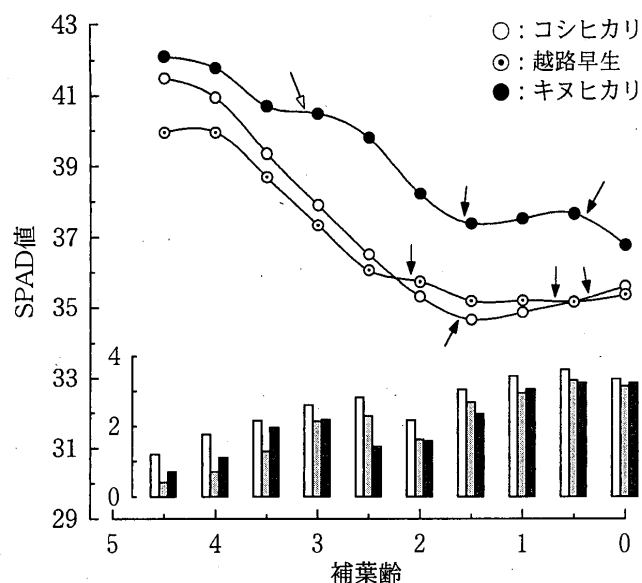
補葉齢3.0における葉面積指数と成熟期の稈長との関係を第5図に示した。既述のように補葉齢3.0は、3品種ともほぼ穂首分化期に相当する。この時期の葉面積指数に対する稈長の回帰直線の傾きは、コシヒカリと越路早生では、それぞれ11.4 cm/LAIと16.1 cm/LAIであり、稈長の増加程度は明らかにキヌヒカリ(5.3 cm/LAI)よりも大きかった。さらに、補葉齢3.0における葉面積指数と下位3節間長の和との関係をみると(第4図B)、葉面積指数の増加に対する下位節間の伸長程度は、コシヒカリの方がキヌヒカリよりも明らかに大きいことがわかる。これらの結果は、キヌヒカリの場合、穂首分化期の葉面積指数が異なっても、下位節間や稈の伸長に対する影響の度合いがコシヒカリや越路早生に比べて小さいことを示唆する。

そして、既述のように異なる生育段階における葉面積指数と成熟期の稈長との相関係数の推移は、キヌヒカリとコシヒカリや越路早生とは傾向が若干異なった(第3図)。このような品種間差の原因は明らかではないが、キヌヒカリにはIR8の半矮性が導入されており(古賀ら 1989, Tabuchiら 2000)、キヌヒカリの有する遺伝特性と関連すると推測される。今後は、葉面積指数だけでなく葉の着生角度や分げつの出現角度等と稈基部の光環境との関連から品種間差の原因を明らかにする必要がある。

3品種ともに、葉面積指数は補葉齢3.0以降も増加したが(第2図)、葉面積指数と稈長との間の相関係数は、コシヒカリや越路早生では補葉齢3.0以降に、キヌヒカリでは補葉齢2.0以降には低下した(第3図)。瀬古(1962)や川原ら(1968a)によると、第V節間(穂首節間を第I節間とする)の伸長開始期は補葉齢2.5ないしはそれよりわずかに早い時期と考えられる。したがって、第V節間を含むこれより上位の節間は、補葉齢2.5頃以降に伸長したと推定されるが、葉面積指数と稈長との相関関係は低下する方向にあった(第3図)。つまり、成熟期の稈長は、第V節間が伸長を開始する時期よりも前の時期の葉面積指数により強く影響され、それに比べると、下位節間の伸長期間中は、葉面積指数の稈の伸長に対する影響の程度は相対的に低いといえる。高橋・輪田(1972a)は、水稻幼植物の第2節間の伸長に関して、将来の伸長量は節間伸長前2~5日目の光条件によって決定されると報告している。また、高橋ら(1972b)は、生育時期別に各種濃度のジベレリン酸(GA_3)を散布処理した結果より、節間分裂組織の分裂活性は節間形成のごく初期に決定されるとしている。川原ら(1968a)によると、第V節間および第IV節間の介在分裂組織は、それぞれ補葉齢3.4頃と補葉齢2.7頃に分化したと推測される。したがって、穂首分化期を中心とした時期に葉面積指数が大きい場合、つまり、群落の繁茂度が大きい場合、稈基部の光環境が悪化し、そのことがジベレリンを介して下位節間の伸長を刺激し稈長の増大を招いたと推測される。水稻節間の伸長は、ジベレリンを軸に、アブシジン酸とエチレンとの相互作用を通して調整されることが高橋(1984)によって示唆されており、稈基部の光環境と下位節間の伸長とを関連付ける生理的機構の解明が期待される。

(2) SPAD 値

葉緑素計は、葉身中の葉緑素含量を推定するものであり、稲体の窒素濃度そのものを直接測定するものではないが、葉身や茎葉部の窒素濃度と高い相関関係があることが知られている。第6図に葉緑素計の読み取り値であるSPAD値の平均値の推移を示した。補葉齢4.0における3品種のSPAD値は40.0~41.8の範囲にあり、キヌヒカリ、コシヒカリ、越路早生の順に高かった。その後はいずれの品種においても低下したが、キヌヒカリのSPAD値はコシヒカリや越路早生に比べて常に高い値で経過した。

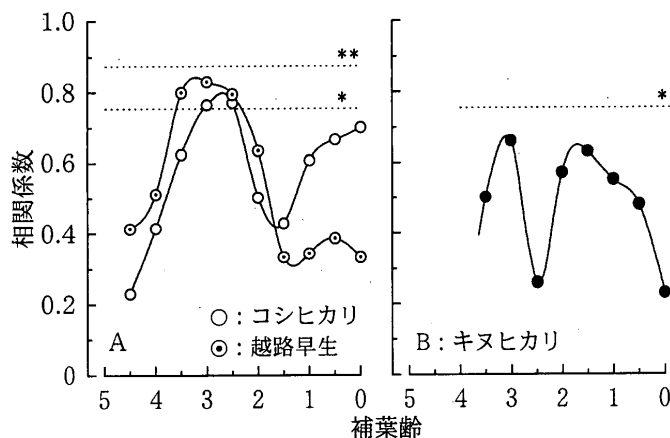


第6図 平均SPAD値の推移。

栽培年次毎に各生育段階におけるSPAD値(葉緑素計による読み取り値)の推定値を算出し、年次間の平均値ならびに標準偏差を示した。SPAD値の推定法は本文参照。コシヒカリと越路早生は1988~1994年の、キヌヒカリは1989~1994年の平均値である。図中の縦棒は標準偏差の大きさ(左から順にコシヒカリ、越路早生、キヌヒカリ)を示す。また図中の白抜き矢印は、中間追肥(キヌヒカリのみ)を、塗りつぶしの矢印は穂肥(各品種とも2回)を施用した平均時期を示す。

またキヌヒカリは、出穂期の平均35.8日前、平均補葉齢3.2(年次間で補葉齢2.8から3.6の範囲)に窒素追肥(2 gN m⁻²)をしており、補葉齢3.0以降のSPAD値は、コシヒカリや越路早生より1.2~3.7ポイント高く経過した。3品種の1回目の穂肥施用時期は、補葉齢2.0~1.5頃であったが、この時期以降のSPAD値は各品種ともほぼ横這いで推移した。このようにSPAD値は、補葉齢4.5から補葉齢1.5にかけて4.2~6.8ポイント低下したが、年次間の標準偏差も最大3.6ポイントにまで達しており(第6図)、葉面積指数における標準偏差の大きさ(第2図)と見比べても、SPAD値の年次変動が大きいことがわかる。

つぎに、異なる生育段階におけるSPAD値と成熟期の稈長との相関係数を求め、第7図に示した。コシヒカリ、越路早生とも補葉齢4.5以降は相関係数が高まり、補葉齢3.0前後でピークに達した。両品種の補葉齢3.0における相関係数は、それぞれ0.765*と0.829*であった。その後は補葉齢1.5まで低下したのち、コシヒカリは再び増加に転じ、越路早生は横這いで推移した。一方、キヌヒカリに関しては、コシヒカリや越路早生ほどではないが、補葉齢3.0や補葉齢2.0~1.5の時期のSPAD値が稈長と比較的高い正の相関関係を示した。ただし、キヌヒカリでは、補葉齢2.5において相関係数が急激に低下した。この点に関しては、既に述べてきたように、キヌヒカリでは補葉齢3.2頃に窒素追肥を行っており、この窒素追肥によって葉



第7図 異なる生育段階におけるSPAD値と成熟期の稈長との間の相関係数の推移。

コシヒカリと越路早生は1988~1994年の7カ年、キヌヒカリは1989~1994年の6カ年の相関係数を示す。図中の点線は相関係数の有意点を示し、*と**は、それぞれ5%と1%水準を示す。なお、キヌヒカリの補葉齢4.0における相関係数は負の値となったことから、補葉齢4.5の相関係数とともに省略した。

色が影響され、その施肥直後に相当する補葉齢2.5の相関係数が低下したと推測される。

なお、異なる生育段階におけるSPAD値と金ら(1995)の報告から求めた下位3節間長の和との間の相関係数は、コシヒカリでは補葉齢3.0から2.5にかけて有意な正の相関関係($r=0.990^*$ から 0.992^{**})が認められたが、キヌヒカリでは有意な相関関係は認められなかった。したがって、コシヒカリに関しては、穂首分化期頃に葉身窒素濃度が高い年には稈長が長くなる傾向にあり、稈長の伸長には下位節間の伸長程度が関与したと推測される。一方、キヌヒカリに関しては、窒素追肥の影響もあつてか必ずしも明瞭な結果は認められなかった。

4. 穂首分化期頃の葉面積指数の年次変動に関与する要因

稈長の年次変動に、穂首分化期頃の葉面積指数が関与することが示唆されたので、以下では補葉齢3.0における葉面積指数の年次変動要因について解析した。

(1) 気温および日射量と葉面積指数

最初に気象環境との関連について述べる。移植日から補葉齢3.0到達日までの日平均気温ならびに日射量の平均値を算出し、補葉齢3.0における葉面積指数との相関関係を調査した(第4表)。コシヒカリでは、平均日平均気温と葉面積指数との間に5%水準で有意ではないが正の相関関係($r=0.753$)が認められた。しかし、越路早生やキヌヒカリの相関係数は0.45前後と低く、有意な相関は認められなかった。また、葉面積指数は、平均日射量との間にも有意な相関関係は認められなかった(第4表)。

(2) 窒素吸収量と葉面積指数

水稻において葉面積指数は窒素吸収量と密接に関連し、

第4表 補葉齢3.0における葉面積指数と補葉齢3.0到達日以前の日平均気温ならびに日射量との相関係数。

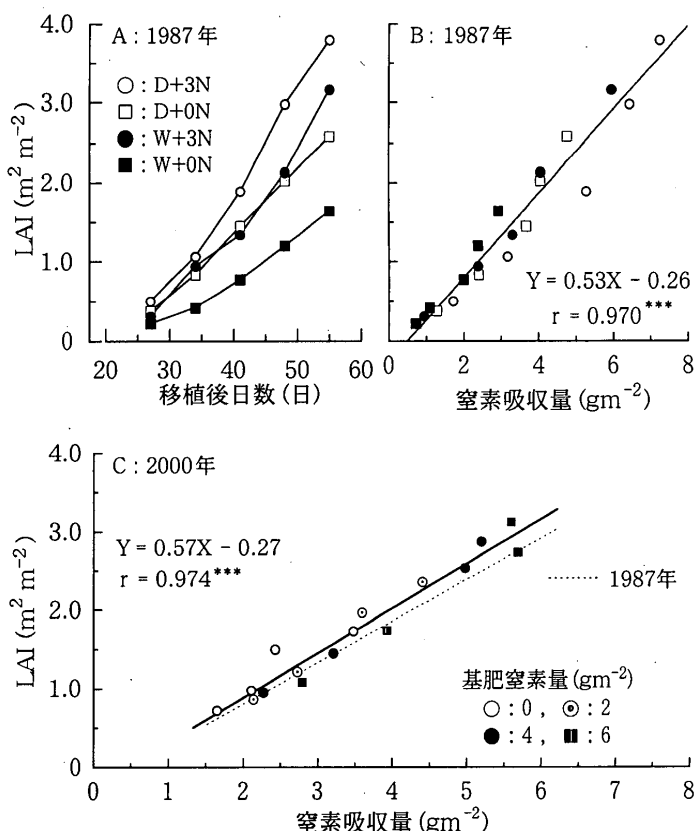
| 品種 | 日平均気温 | 日射量 |
|-------|-------|-------|
| コシヒカリ | 0.753 | 0.199 |
| 越路早生 | 0.455 | 0.562 |
| キヌヒカリ | 0.447 | 0.341 |

コシヒカリと越路早生は1988～1994年の7カ年、キヌヒカリは1989～1994年の6カ年の相関係数を示す。移植日から補葉齢3.0到達日までの日平均気温ならびに日射量の平均値を算出し、補葉齢3.0における葉面積指数との相関係数を算出した。相関係数はいずれも5%水準で有意ではない。

窒素吸収量が高まるほど葉面積指数が増大することが知られている（深山 1988, Haségawa 1996）。作況基準試験では、稲体の窒素吸収量を測定していないので、解析に供したデータについて葉面積指数と窒素吸収量との関係を検討することはできなかった。しかし、第8図に示す1987年（第8図B）と2000年（第8図C）におけるコシヒカリの窒素吸収量と葉面積指数との関係を見ると、両年とも窒素吸収量と葉面積指数とは有意な正の相関関係にあることがわかる。1987年は湛水前の土壌乾燥や基肥窒素の有無の影響を（第8図B）、2000年は基肥窒素量の影響をみたものであるが（第8図C）、両年の回帰直線の傾きには、統計的に有意な差は認められなかった。これらのことから、稈長の年次変動には、補葉齢3.0頃の窒素吸収量が密接に関与したと推測される。そして、葉緑素計によるSPAD値は、葉身や茎葉部の窒素濃度と高い相関関係にあることが知られており、穂首分化期頃に葉面積指数やSPAD値が高い年は、稲体の窒素吸収量が多く、なおかつ茎葉の窒素含有率が高い年であったと考えられる。

(3) 春期の降水量と葉面積指数

水稻が吸収する窒素は、化学肥料、堆肥、灌漑水ならびに地力由来に大別される。東北以南では、穂首分化期頃になると通常基肥窒素が消失し、水稻の窒素吸収は地力窒素の無機化に支配される段階に移行すると考えられている（鳥山 1994）。したがって、穂首分化期頃までに稲体が吸収した施肥窒素は、コシヒカリと越路早生では基肥として施用した窒素であり、キヌヒカリに関しても、穂首分化期頃に中間追肥をしている点を考慮しても、吸収した施肥窒素のほとんどが基肥由来と判断される。第1表に示した施肥設計をみると、越路早生ではいずれの年も基肥窒素量は 4.0 g m^{-2} で同量であり、コシヒカリでは1988年と1989年が 3.0 g m^{-2} 、キヌヒカリでは1989年が 5.0 g m^{-2} であったが、それ以外の年はいずれも 4.0 g m^{-2} であった。これらのことから、基肥窒素量の多少が、穂首分化期頃の葉面積指数や窒素吸収量の年次変動をもたらした主因とは考え難い。また、堆肥由来窒素については、第1表に示したように毎年同量の堆肥を施用しており、灌漑水由来の窒素に関しても、作況基準試験では毎年同じ水系から取水し同



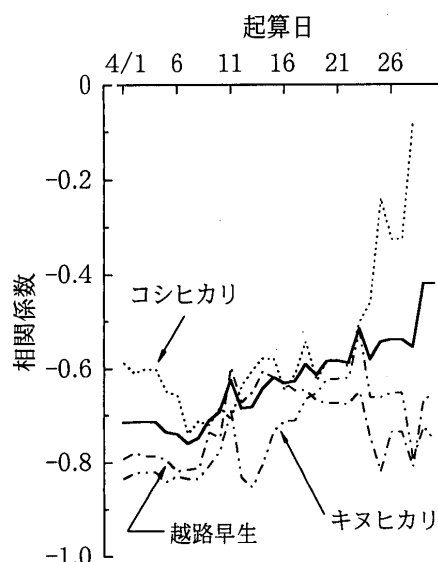
第8図 水田湛水前の土壌乾燥が水稻の葉面積指数（LAI）に及ぼす影響（A, 1987年）ならびに窒素吸収量とLAIとの関係（B: 1987年, C: 2000年）。1987年は、湛水前の土壌の乾燥と非乾燥をDとWで、基肥窒素の施用（ 3 g m^{-2} ）と無施用を3Nと0Nで表し、それらの組み合わせで示した（図A）。図B中のシンボルは図Aに同じ。***は0.1%水準で有意であることを示す。

様に水管理をしていることから、窒素吸収量の年次変動をもたらした原因とは考え難い。

水稻が一作期間に吸収する窒素の約6～7割は、当年に施肥した窒素以外のいわゆる地力窒素に由来する（小山 1975）。地力窒素の実体は、土壌中に蓄積されている有機物が土壌微生物によって分解される際に生成するアンモニア態窒素である（原田 1959）。アンモニア態窒素の生成過程、すなわち地力窒素の無機化反応は、種々の環境要因の影響を受けるが、水田土壌では湛水前の土壌乾燥および湛水後の地温が重要と考えられている。

しかし、温度の影響に関しては、移植日から補葉齢3.0到達日までの平均日平均気温と補葉齢3.0の葉面積指数との間に有意な相関は認められなかったこと（第4表）、あるいは $12\sim 15^\circ\text{C}$ を基準温度として同期間について有効積算気温を算出してみても、いずれの基準温度の場合にも補葉齢3.0の葉面積指数と有意な相関関係は認められなかった（データ省略）。これらのことから、補葉齢3.0における窒素吸収量の年次変動要因として、移植後の温度との関連は小さいと考えられた。

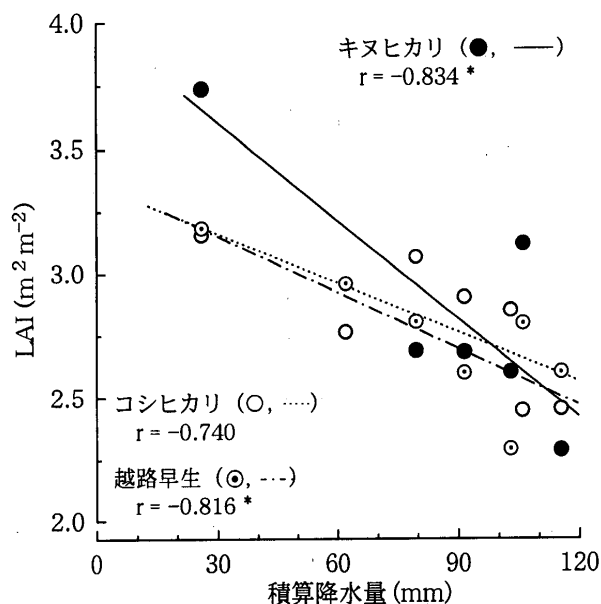
つぎに、土壌乾燥の影響について述べる。水田土壌が湛水前に乾燥した場合、湛水後にアンモニア態窒素が多量に生成する現象、すなわち乾土効果が広く知られている（塩



第9図 起算日を異にして求めた積算降水量と補葉齢3.0における葉面積指数との間の相関係数の推移。

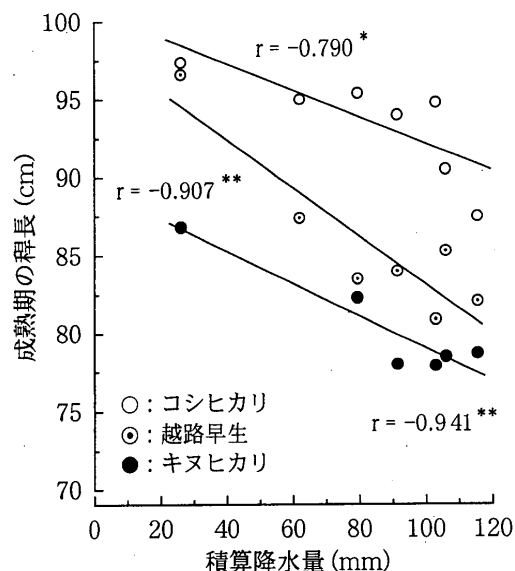
積算降水量は、起算日から5月5日までの降水量を積算した。図中の実線は、3品種込みにして求めた相関係数を示す。

入ら1941)。そして、鳥山(1994)は、乾土効果の発現による地力窒素の無機化は、 15°C 以上の有効積算温度に換算して遅くとも 200°C 前後までに完了し、北陸地方では概ね6月下旬に相当すると試算している。第8図Aは1987年の試験結果であり、乾土効果の一例といえる。湛水前の耕起時期を早めることによって水田土壌の乾燥を促した場合、葉面積指数は、湛水前日に耕起した場合に比較して、移植後34日目ないし41日目以降高く推移した。そして、移植後48日目(出穂期の30日前)には、土壌乾燥の有無により葉面積指数で平均 $0.84\text{ m}^2\text{ m}^{-2}$ (窒素吸収量で平均 2.0 g m^{-2})の差異が認められた。このように、耕起時期の差異によって乾土効果発現量が大きく影響されることは上野ら(1989)も報告している。同様に、中鉢ら(1995)は、乾土効果と湛水前土壌水分との関係を応用し、春期の降水量から地力窒素発現量(乾土効果)の予測を試みている。そこで、春期に降水量の少ない年には、乾土効果によって地力窒素の発現量が増大し、そのことが補葉齢3.0における窒素栄養状態の年次変動をもたらした要因と考え、さらに解析を進めた。解析に供した作況基準試験では、5月6日ないしそれ以降に湛水することが多かった。そこで、5月6日以降には土壌の乾燥は進まなかったと考え、4月1日以降の任意の日を起算日として5月5日までの積算降水量を算出し、その積算降水量と補葉齢3.0における葉面積指数との間で相関係数を求めた(第9図)。コシヒカリは、4月7日を起算日とした場合に、有意ではないが最も高い負の相関関係が認められ、それ以降は相関関係が弱まる傾向にあった。一方、越路早生とキヌヒカリでは、コシヒカリのように相関関係が弱まる傾向は認められなかったが、4月7日頃を起算日とした場合に有意な高い負の相関関係が認められた。そこで、4月7日を起算日と



第10図 水田湛水前の積算降水量(4月7日から5月5日)と補葉齢3.0における葉面積指数(LAI)との関係。

*は5%水準で有意であることを示す。



第11図 水田湛水前の積算降水量(4月7日から5月5日)と成熟期の稈長との関係。

*と**は、それぞれ5%と1%水準で有意であることを示す。

した場合の積算降水量と補葉齢3.0の葉面積指数との関係を第10図に示した。3品種とも湛水前約1ヶ月間の積算降水量が少ない年ほど穂首分化期頃の葉面積指数が高まる傾向にあった。そして、この積算降水量は、成熟期の稈長とも有意な負の相関関係を示した(第11図)。

以上をまとめると、同様の施肥・栽培条件で認められた稈長の年次変動には、穂首分化期頃の葉面積指数が密接に関連し、葉面積指数の高い年ほど稈長が長くなる傾向にあることが明らかとなった。そして、この稈長の増大には、下位節間長の増大が関与すると推測された。さらに、穂首分化期における葉面積指数の年次変動には、水田湛水前の降水量が密接に関連した。降水量が少ない年には乾土効果発現量が高まり、その結果地力窒素供給量が増加し、穂首

分化期の葉面積指数を増大させた可能性が強く示唆された。したがって、節間伸長の制御技術を確立するためには、窒素施肥の量や時期の検討のみならず、乾土効果発現量によって変化する地力窒素供給量の影響を考慮することが重要と考えられた。また、本報告の結果は、穂首分化期頃の葉面積指数を知ることにより、節間伸長後の稈長を予測しうることを示唆しており、生育予測技術の一つとして今後の発展が期待される。

謝辞 作況試験データと気象観測データは、それぞれ北陸農業試験場（現中央農業総合研究センター・北陸研究センター）の栽培生理研究室と気象資源研究室によるものである。また、1987年の試験は、著者の一人鳥山が、高見晋一氏（現近畿大学教授）、菅谷博氏（現近畿中国四国農業研究センター 傾斜地気象研究室長）ならびに児嶋清氏（現九州沖縄農業研究センター 雑草制御研究室長）とともにに行った共同研究である。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 後藤雄佐・槌山隆・星川清親 1990. 水稻の分げつ性に関する研究. 第7報 個体内各茎の葉齢と幼穂発育過程との関係. 日作紀 59: 701—707.
- 原田登五郎 1959. 水田土壌の有機態窒素の無機化とその機構に関する研究. 農技研報 B9: 123—199.
- Hasegawa, T. 1996. Modeling the effects of nitrogen on rice growth and development. 京都大学学位論文（国立国会図書館、博士論文目録 96-T-533）.
- 橋川潮 1986. 稲作技術を再検討する. (2) 生育相のまったく異なる水稻にみられる多収性. 農業技術 41: 201—205.
- 北條良夫・小田桂三郎 1967. 大麦の強稈性に関する研究. 第14報 栽植密度と稈強度との関係. 日作紀 36: 85—93.
- 上地由朗・林茂一・堀江武 1993. 水稻の下位節間長に及ぼす窒素と稈基部光環境の影響. 日作紀 62: 164—171.
- 川原治之助・長南信雄・和田清 1968a. 稲の形態形成に関する研究. 第3報 穂、稈の伸長の相互関係および稈の分裂組織について. 日作紀 37: 372—383.
- 川原治之助・和田清 1968b. 稲の形態形成に関する研究. 第4報 稈の表皮および皮層繊維の形成について. 日作紀 37: 384—393.
- 古賀義昭・内山田博士・佐本四郎・石坂昇助・藤田米一・奥野員敏・上原泰樹 中川原捷洋・堀内久満・三浦清之・丸山清明・山田利明・八木忠之・森宏一 1989. 水稻新品種「キヌヒカリ」の育成. 北陸農試報 30: 1—24.
- 児嶋清・古谷勝司 1988. コシヒカリの節間伸長に及ぼす透過日射量の影響. 日作紀 57 (別1): 29—30.
- 金忠男・山口弘道・長谷川浩 1995. キヌヒカリの耐倒伏性と下位節間における節間重/節間長比. 北陸農業研究成果情報 11: 44—45.
- 小山雄生 1975. ^{15}N 利用による水田土壌窒素肥沃度測定の実際と生産力. 土肥誌 46: 260—269.
- 松葉捷也・佐々木良治 1997. イネの穂肥による葉身・節間の同時伸長性に関する理論の再検討. 日作紀 66 (別2): 191—192.
- 松葉捷也 2000. 新しい稲作理論に向けた草姿制御の茎葉単位とその最適制御時期. 日作紀 69: 293—305.
- 松田智明・川原治之助・長南信雄 1984. 水稻下位節間の挫折抵抗性に関する組織形態学的研究. 第6報 異なる環境下で生育した水稻の下位節間の構造と挫折抵抗性. 日作紀 53: 71—78.
- 松島省三 1960. 稲作の理論と技術—収量成立の理論と応用—. 養賢堂, 東京. 76—94.
- 松島省三 1973. 稲作の改善と技術—理想稲による多収安全良質稲作—. 養賢堂, 東京. 1—393.
- 深山政治 1988. 水稻の最適窒素保有量に基づく新しい施肥基準策定法に関する研究. 千葉農試特報 15: 1—92.
- Oikawa, T. and M. Monsi 1969. Analytical studies of height growth in a *Helianthus annuus* community in relation to competition for light. Jpn. J. Bot. 20: 189—211.
- 瀬古秀生 1962. 水稻の倒伏に関する研究. 九州農試彙報 7: 419—499.
- 塩入松三郎・青峰重範・宇野要次・原田登五郎 1941. 水田土壌乾燥の効果について. 土肥誌 15: 331—333.
- Tabuchi, H., N. Hashimoto, A. Takeuchi, T. Terao and Y. Fukuta 2000. Genetic analysis of semidwarfism of the japonica rice cultivar Kinuhikari. Breed. Sci. 50: 1—7.
- 高橋清・輪田潔 1972a. 水稻節間の伸長機構に関する研究. 第1報 幼植物第2節間の伸長に及ぼす光およびジベレリン酸の影響. 日作紀 41: 431—436.
- 高橋清・佐藤庚・輪田潔 1972b. 水稻節間の伸長機構に関する研究. 第4報 ジベレリン酸の節間伸長誘起効果. 日作紀 41: 449—453.
- 高橋清 1984. 水稻節間の伸長機構に関する研究. 第8報 幼穂分化後の伸長節間の植物ホルモンによる制御. 日作紀 53 (別2): 162—163.
- 鳥山和伸 1994. 水田の土壌窒素無機化量の年次変動予測とそれに基づく水稻の施肥管理モデル. 北陸農試報 36: 147—198.
- 中鉢富夫・武田良和・山家いづみ 1995. 春期の雨量による土壌窒素発現量（乾土効果）の予測. 宮城農セ報 61: 33—44.
- 上野正夫・佐藤之信・熊谷勝巳・大竹俊博 1989. 水田の乾土効果発現量の予測と水稻の生育反応. 土肥誌 60: 167—171.
- 八柳三郎・竹内徳猪 1960. 水稻品種の生態に関する研究. IV. 節間伸長に関する二三の考察. 日作紀 29: 82—84.

Factors Affecting the Yearly Fluctuation in the Culm Length of Rice: Ryouji SASAKI^{*1)}, Takeshi HORIE²⁾, Kazunobu TORIYAMA¹⁾ and Yoichi SHIBATA¹⁾ (¹⁾Natl. Agr. Res. Cent., Joetsu 943-0193, Japan, ²⁾Kyoto Univ.)

Abstract: Three rice cultivars, Koshihikari, Koshijiwase, and Kinuhikari, were cultivated in a paddy field under similar fertilizer management practices from 1988 to 1994, and factors affecting the yearly fluctuations in the culm lengths of rice were examined. The culm lengths at the ripening stage were positively correlated with the leaf area indexes (LAI) at the neck node differentiation stage (NNDS) in the three cultivars. The longer lengths of culm were explained by the positive correlation between the lengths of lower internodes at ripening stage and LAI at NNDS. The varietal difference in the regression coefficient of culm length to LAI at NNDS was observed; the coefficient of Kinuhikari, which is a short culm variety, was 5.3 cm/LAI, and those of Koshihikari and Koshijiwase were 11.4 and 16.1 cm/LAI, respectively. This suggests that the sensitivity of

elongation of lower internodes and culm to high LAI was lower for Kinuhikari than for Koshihikari and Koshijiwase. The SPAD values at NNDS were positively correlated with the culm length. However, the correlation coefficient was lower for Kinuhikari than for Koshihikari and Koshijiwase. The LAI at NNDS showed negative correlation with the amount of precipitation during the month before flooding. These results indicated that the yearly fluctuation of LAI at NNDS was affected by the air-drying effect on ammonification, which caused the yearly fluctuations of culm length to occur.

Key words: Air-drying effect on ammonification, Chlorophyll meter, Culm length, Internode elongation, Leaf area index, Lodging, Precipitation, Rice.

書 評

「大気環境変化と植物の反応」野内勇 編著. 養賢堂, 東京. 2001年6月, 391頁, 5,250円.

本書は, 1.大気汚染による植物被害の変遷 (野内勇), 2.大気汚染物質と大気質の変化 (芳住邦雄), 3.二酸化イオウによる植物被害 (野内勇), 4.光化学オキシダントによる植物被害 (野内勇), 5.窒素酸化物による植物被害 (野内勇), 6.大気環境の悪化を警告する指標植物 (野内勇), 7.酸性雨による農作物被害 (野内勇), 8.森林衰退 (伊豆田猛), 9.地球温暖化の植物への影響予測 (清野裕), 10.紫外線 (UV-B) 増加に対する植物の反応 (野内勇), 11.大気-植生-土壌系における CO₂ 交換 (鞠子茂・横沢正幸), 12.水田・湿地からのメタン発生 (野内勇), 13.植物の持つ大気浄化機能 (野内勇), の13章から成る本格的な専門書であるが, 計391頁と分量は手頃である.

上梓された本書は, 編著者の野内氏が東京都公害研究所時代から現所属の農業環境技術研究所において, 長年携わってきた大気汚染や大気環境変化と植物の生理・生態的影響に対する解析と評価を中心として, 地球環境問題にまで言及した幅広く, かつ奥深い内容を含んでいる. 手の届かない部分は友人の協力を得たものの, 全13章中9章までも野内氏が執筆しつつ全体を統括していることも賞賛に値する.

各章の順序を追って要約すると, まず (1)大気汚染の実態の歴史的変遷について, 二酸化イオウや煤塵などの代表的例を引き合いにし, それらが経済成長の過程で都市型かつ広域発生型に変わり, さらにボーダレス化して地球規模の植物被害を出していることを強調し, (2)基礎的知識としての大気汚染物質の動態と, それらが地球の大気質の変動にいかなる影響を与えているかを述べ, (3~7) 光化学オキシダント, 窒素酸化物, 酸性雨等の発生メカニズムと植物被害の状態, ならびに被害検定のための指標植物の性状と反応について具体例をあげながら解説し, (8)世界各地の森林衰退について, 大気環境要因のオゾン, 二酸化イオウ, 酸性降水物等との因果関係を追求し, (9)地球温暖化が農業生産や森林生態系等へ及ぼす影響について, 決して明るくはない将来予測をし, (10)植物に及ぼすオゾン層破壊と紫外線 (特に UV-B) 増加の関係を論じ, (11)大気-植生-土壌系における CO₂ 交換についても, 光合成・呼吸を基盤としたモデルをたて, 炭素循環の大きさや速度, また, 陸域生態系の将来を予測し, (12)水田や湿地帯からのメタン発生のメカニズムを明らかにしてメタンの輸送モデルをたて, 地球温暖化との関係を論じ, 最終章では, (13)大気汚染物質の植物組織による吸着・沈着量の評価と大気浄化機能とを検討し, 植物は各種の大気汚染ガスの被害を受けながらも, それらを吸収し, いわばエアークリーナーとして大気環境の浄化に役立っていることを論じている.

各章末には, 必要十分量の関連文献が示されており, さらに学習を深める向きには恰好の資料である.

以上, 本書では大気環境変化に対する植物の反応がつぶさに観察, 類型化されて将来予測に結びつけられ, さらに新たな研究領域の展望がなされているのみならず, われわれの生活にも想いをめぐらすよう暗示がなされている (この点は筆者の考えすぎかも知れないが). 評者は野内氏と同年であるが, 氏の活力と洞察の深さには常々尊敬の念を禁じ得ない. そのような訳で, 作物研究の同学に是非一読を, とお薦めする次第である.

(明治大学 今井勝)