

水稻における気孔開度と個体群生長速度、純同化率、葉面積指数 および乾物生産との関係について —秋田県大潟村における水管理に着目して—

川島長治・松本大・小川敦史

(秋田県立大学生物資源科学部)

要旨：秋田県大潟村での水管理体系をみると、コンバイン収穫に備えて7月初めの幼穂分化期頃から落水され、水稻は土壤水分が少ない状態で生育し、体内水分含量が減少して気孔は閉じ気味となり、光合成速度が低下して、収量にも影響が生じると考えられる。しかし収量は他の米産地以上に高い。本研究では、大潟村水稻の気孔開度と個体群生長速度 (CGR)、純同化率 (NAR)、葉面積指数 (LAI) および乾物生産との関係について、近隣に位置して土壌や気象条件が似ており慣行法で水管理されている秋田県五城目町の水稲と比較した。最高分げつ期 (7月9日頃)、出穂期 (8月9日頃)、出穂2週間後 (8月23日頃) に改良浸潤法によって気孔開度を測定した。その結果、最高分げつ期を除く測定時期で大潟村の気孔開度は五城目町よりかなり小さかった。しかしながら CGR は五城目町より大きかった。以上から、晴天で湿度が低く蒸散が多い日には、水稻は気孔を閉じて体内水分を低下させないように適応し、それによって1日中高い光合成速度を維持し、ひいては高い乾物生産を実現していると推察され、これらから考えられる水稻栽培のあり方の概略を提示した。

キーワード：NAR, LAI, 大潟村, 乾物生産, 気孔開度, 光合成速度, CGR, 幼穂分化期。

水稻における収量は、出穂期前に生産されて茎基部や葉鞘に貯えられ、出穂・開花期後に穂へ転流するおよそ1/3と、出穂期後に生産されるおよそ2/3の炭水化物によって決定される (武田・丸太 1956, 村田 1976)。したがって収量を高めるためには、貯蔵器官としての茎が伸長し始める幼穂分化期頃以後の光合成速度を高く維持する必要がある (戸荏ら 1954, Yamada ら 1956, 松島ら 1966, 武田 1971, 村田 1976)。

水稻の光合成速度は光の強さ、湿度、空気中の CO₂ 濃度、体内の水分含量や窒素含有率などが関与する気孔開度によって影響される (石原ら 1972, 1978b, 1979)。したがって収量を増大するためには、幼穂分化期頃以後における気孔開度の低下を防がなければならない。

晴天で日射量が多く、湿度が低く、蒸散が著しいとされる日には、曇天で日射量が少なく、湿度が高く、蒸散が少ない日に比べて気孔は早朝から開き始め、午前8～9時頃最大に達してその値も大きい。以後時間の経過とともに小さくなる (石原ら 1971a)。すなわち日射量や湿度などが気孔開度を通じて光合成速度を左右しているとされる。

秋田県大潟村の水稲栽培における水管理体系をみると、干拓地であるため地下水位が高く、土壌が重粘かつ軟弱であるため、大型コンバイン収穫に備えて7月10日頃 (この頃の水稲は幼穂分化期直後であり、出穂期までには1ヶ月弱の期間がある) には落水され、以後天水を待つか降雨が著しく少ない場合に一時的な灌水が行われる程度である。したがって幼穂分化期頃以後、水稻は土壤水分が少な

い状態で生育することとなって体内水分含量は低く、幼穂発育中はもちろん登熟の早い段階から気孔は閉じ気味となって光合成速度が低下し、ひいては収量に影響が生じると推察される。とくにその傾向は晴天で日射が強く、湿度の低い日が多い場合に顕著であると思われる。しかしながら大潟村の収量は全国的にも高く (第1表)、光合成の原料である CO₂ が気孔を通じて吸収されることを考えると、これら気孔開度と収量との関係は理解し難い。なお収量と日照量や日射量とは密接な関係がある (松島ら 1954, 武田 1971, Murata 1975, 津野 1976)。

以上から本研究では、大潟村の水稲の気孔開度と乾物重

第1表 秋田県大潟村と全国における水稻収量 (kg/10 a, 平成17年産)。

地域	収量
全国	532
大潟村	575
北海道	573
東北	563
関東・東山	543
北陸	534
東海	500
近畿	516
四国	489
九州	474

平成17年産「作物統計」による。

第2表 実験材料の栽培管理状況.

栽培管理	大潟村	五城目町
播種期	4/25	4/15
田植え期	5/25	5/14
栽植密度*	23	17.8
施肥法		
基肥**	***	0****
追肥**	6/4:1.5 7/27:1.5	7/20:2.3
水管理		
湛水状態	5/1~7/11	5/14~7/10
中干し	*****	7/10~7/20
落水状態	*****	9/6以降
出穂期	8/12	8/6
収穫期	10/4	10/2

: 基肥全量苗箱施肥. 窒素成分量でおよそ 4 kg/10 a, *: 前年ダイズによる転作を行ったため窒素過剰の恐れがあるので基肥は施用しなかった, *****: 落水状態. なお, 大潟村における生育初期の水管理は五城目町と同様深水ではなかった.

の測定, 生長解析を行って, 近隣に位置し, 周辺干拓地 (大潟村が存在する, 干拓堤防内の「中央干拓地」に対して, 八郎潟周辺町村在の干拓地に対する呼称) であるため気象や土壌条件がよく似ており, 水管理は慣行法で, 生育の早い時期からの落水は行われない五城目町の水稲と比較しつつ, 気孔開度と個体群生長速度 (CGR), 純同化率 (NAR), 葉面積指数 (LAI), および乾物生産との関係について検討した. なおこれまでも, 栽培条件や収量, 年次などが異なる水稲について折りに触れて本研究と同趣旨の試みを行ってきた. 今回体系的な実験を行ったが, 結果はそれらとほぼ同様であった.

本研究は大潟村における特異な水管理の下での水稲に着目したものであるが, 結果はわが国のみならず広く世界的な水稲の生理・生態に通じるものと考えられる. そこで最後に, 以上の結果から考えられる水稲栽培のあり方の概略を提示した.

材料と方法

実験は平成 18 年に, 大潟村に存在する秋田県立大学附属農場の水田で栽培された水稲と, 五城目町の八柳一義氏水田で栽培された水稲とを比較した. JA 湖東の猿田始課長によれば, 八柳氏水田の例年における生育は, 同町の水稲のほぼ平均的な生育を示し, 一方の附属農場で栽培された水稲は, 播種および移植時期の遅れ (第2表) などによって生育が例年よりやや不良であった. 材料と方法の詳細は以下のとおりである.

栽培された品種はいずれも「あきたこまち」で, 栽培法は第2表のとおりであった.

気孔開度は石原ら (1979) の改良浸潤法によって測定し

第3表 測定時における気温の状況.

測定時期	最高	最低	平均
最高分げつ期			
7/5	25.9	16.1	20.9
7/9	27.5	18.1	22.8
出穂期			
8/8	30.1	18.6	25.0
8/9	31.8	20.2	26.3
出穂2週間後			
8/21	32.0	24.5	27.5
8/23	29.1	22.7	25.5

AMeDAS の観測サイト秋田県大潟の気温 (°C).

た. この方法によれば, 光合成速度に大きく影響する拡散伝導度をも推定できるとされる. 測定時期は最高分げつ期 (7月5, 9日), 出穂期 (8月8, 9日), 出穂2週間後の登熟初~中期 (8月21, 23日) の3時期で, 各時期とも午前8時から1時間ごとに測定した. いずれの時期・時刻とも1株中の強勢な茎1本を10株から選んで最上位3葉について測定し, 各葉の平均値の合計を開度とした (1回の測定に要した時間は15分程度で, その間の気孔開度の変化はほとんどないと考えられる).

気孔開度に影響すると考えられる諸条件の測定は, つぎのようであった. すなわち照度は, ほぼ曇でおよそ3万 lux と推定される水平照度を1, 雲間から太陽光が少し注いでいるおよそ4万 lux を2, 雲量が40%でおよそ5~6万 lux を3, 雲量が20%位で8万 lux 前後を4, 雲量が5~10%位のほぼ快晴で10万 lux 以上を5とする相対値によって求めた. 湿度は気孔開度の測定日にそれぞれの水田付近において, 毛髪湿度計により測定した. 温度については測定を行わなかったが, 気孔開度に影響するような高温や低温ではなかった (第3表). 葉身中の窒素含有率は, 生長解析を行った際に採取した葉身 (葉緑素が僅かでも残っている葉身を含む) 中の含有率を, C/N コーダー (ヤナコ分析工業) により測定した. 水田の土壌水分含量は, 気孔開度を測定した3回のうち出穂期および出穂2週間後には大潟村水田ではすでに落水状態にあったので, 乾土 100 g 当たりの水分含量を測定した. その試料は土壌表面から約 30 cm の深さまでの層から採取してよく混合し, 105°C で約 48 時間乾燥して乾燥前と後の重量から求めた.

生長解析はつぎのように行った. 気孔開度の各測定日において, その日を挟む前後1週間に, それぞれの水田内3ヵ所から3, 4, 3株の計10株を採取し, 根を除く地上部の乾物重を測定した. その際水稲体を穂, 茎 (葉鞘を含む), 葉身, 枯死した部分 (以下「枯死部」と呼ぶ) に分け, 90°C の通風乾燥機で約48時間乾燥し, それぞれの重量を測定した. 葉面積は, 乾物重の測定の際の葉身を葉面積計 (LI-3100, LI-COR) で測定した.

結 果

1. 気孔開度に影響する照度や湿度、その他の条件

(1) 照度

1) 最高分げつ期

五城目町で7月5日、大潟村で9日で、ともに1~3の間で日変化し、11時以後は大潟村の方が小さく経過した(第1図A)。

2) 出穂期

五城目町で8月8日、大潟村で翌日の9日で、ともに8時の3~4から10時に5となり、以後14時頃までその照度で経過した(第2図A)。

3) 出穂2週間後

五城目町で8月21日、大潟村で23日には日変化が大きかった。10時までは大潟村の方が多く、11時から14時までは五城目町の方が多く、以後かなり小さく経過した(第3図A)。

以上のとおり相対値1の時もあったが、多くの測定時で2以上であった。

(2) 湿度

1) 最高分げつ期

大潟村、五城目町ともに60~80%の間で日変化し、測定を開始した8時から13時頃までは大潟村の方が同等ないしやや低い値で推移し、13時以後は大潟村の方が10%程度高く経過した(第1図B)。

2) 出穂期

大潟村の方が測定中終始高く、50~70%の間で経過した(第2図B)。

3) 出穂2週間後

大潟村、五城目町ともに60~80%で推移し、時間ごとには多少の相違はあるが、日変化ではほぼ同じ経過であった(第3図B)。

以上のとおり測定期間中の湿度は50~80%の間で経過し、出穂期においては大潟村の方が高かった。

(3) 葉身中の窒素含有率

最高分げつ期における大潟村、五城目町の窒素含有率はそれぞれ4.5、4.4%で高い値を示した(第4表)。以後出穂期、出穂2週間後となるにつれて低下したが大潟村の方がやや低く推移した(第4表)。なおこのように大潟村の方がやや低く推移したのは、出穂2週間後において五城目町の水稲では生きていた葉は最上位のおよそ2枚であったが、大潟村ではそれより下位葉を含む3枚であったこと、五城目町では幼穂分化期頃の追肥量が比較的多かったこと(第2表)などのため、と考えられる。

(4) 土壌水分含量

五城目町では7月10日から20日までの中干し期間中と、収穫期に近い9月6日頃以後以外は湛水状態にあり、気孔開度を測定した最高分げつ期、出穂期、出穂2週間後のいずれも湛水状態にあった(第2表、第5表)。大潟村にお

第4表 葉身中の窒素含有率(%)。

測定日	大潟村	五城目町
6/29	4.1	4.7
7/7	4.5	4.4
8/3	2.7	2.4
8/10	2.4	2.8
8/18	2.2	3.4
8/25	2.1	3.0
9/20	1.6	2.0

葉緑素が僅かでも残っている葉身を含むすべての葉についての測定値。

第5表 土壌水分含量の推移。

測定時期	大潟村	五城目町
最高分げつ期	飽和状態	飽和状態
出穂期	46.5	飽和状態
出穂2週間後	—	飽和状態

乾土100g当たり%。—は測定せず。なお収穫直前において大潟村では45.5%、五城目町では49.5%であった。

第6表 気孔開度測定例。

葉位	平均値	標準偏差
最上位葉	2.3 a	± 0.2
第2葉	2.7 b	± 0.2
第3葉	2.0 a	± 0.4

大潟村の最高分げつ期における午前11時の値。最上位葉は完全展開の少し前である。平均値について、同じアルファベットは Duncan の多重検定のもと5%水準で有意差がないことを示す。

いては7月11日以後落水状態にあり、その後収穫期まで一度も灌水されたことはなく(第2表)、出穂期以後の測定日の土壌水分含量は50%弱であり(第5表)、土壌表面に幅5mm強の亀裂が認められた。

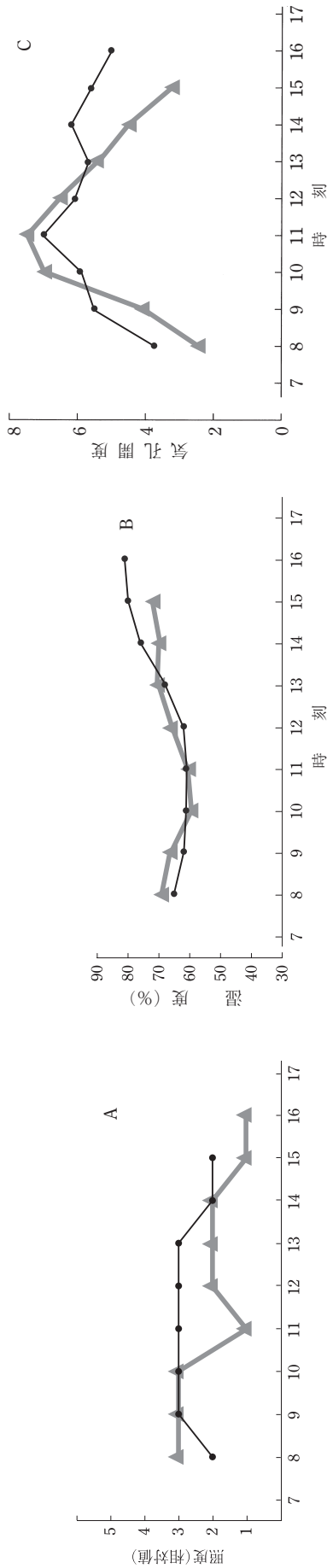
2. 気孔開度の日変化

気孔開度の測定に際しては、できる限り晴天の日(日射量が多く、光合成速度が大きいと考えられる日)を選んで測定するように努めた。このため第2表に示したように、大潟村と五城目町の水稲間では出穂期に6日間の違いがあったが、晴天の日は長続きしないので出穂期以後の測定は1~2日間隔での測定となった。

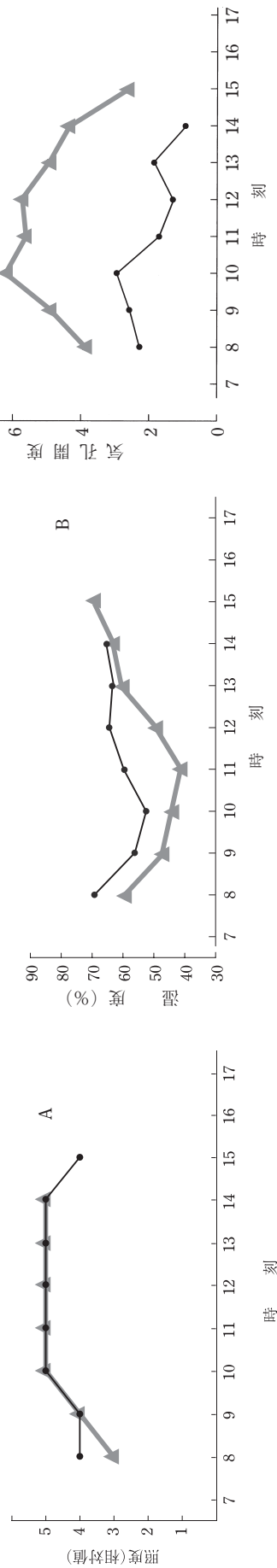
まず各測定時における気孔開度の測定茎間の変動幅、および葉位による相違の一例を示すと第6表のようで、10茎間の測定値の変動幅は極めて小さく、このような傾向は大潟村、五城目町のいずれの測定日・測定時刻においても同様であった。

(1) 最高分げつ期

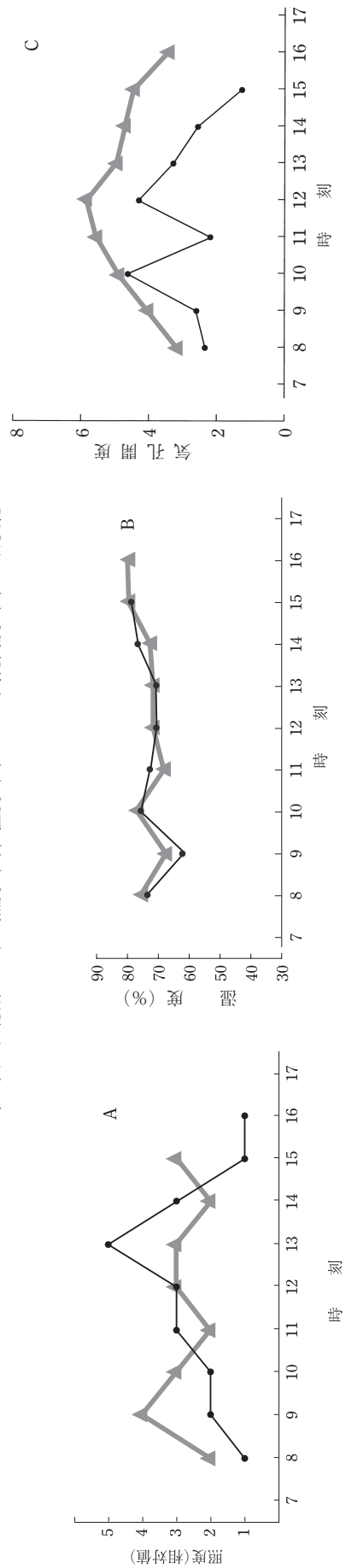
この時には両水田とも湛水状態下にあった。



第1図 最高分けつ期における照度 (A)、湿度 (B) および気孔開度 (C) の日変化。
各図において——●——は大潟村, ——▲——は五城目町を示す (第2図, 第3図についても同様)。



第2図 出穂期における照度 (A)、湿度 (B) および気孔開度 (C) の日変化。



第3図 出穂2週間後における照度 (A)、湿度 (B) および気孔開度 (C) の日変化。
(下位葉の枯死により、五城目町では気孔開度の測定は最上位のおよそ2枚であった)。

両水田の水稻とも午前8時から大となって11時に7.0前後の最大値を示し、以後小となった(第1図C)。その場合大潟村の日変化が小さく、8時から9時におおよそ3.7から5.5、14時から16時に6.2から5.0の開度を示して五城目町より大きかった(第1図C)。

(2) 出穂期

五城目町の水田は湛水状態にあったが大潟村では落水後ほぼ1ヶ月経過していた。

大潟村ではおおよそ1.0~3.0の範囲の日変化であった(第2図C)。五城目町では8時の3.9から10時にかけて大きくなり、12時まで6.0前後の最大値を示した後小さくなり、1日をとおして大潟村の方がかなり小さく推移した(第2図C)。

(3) 出穂2週間後

水管理状態は出穂期と同様で、五城目町では湛水状態にあったが大潟村では落水されていた。

大潟村では10時と12時にそれぞれ4.6、4.3で、それ以外はおおよそ2.4から3.3の幅で日変化した(第3図C)。五城目町では8時の3.2から12時の5.9まで次第に大きくなり、以後3.5まで小さくなった(第3図C)。1日をとおしてみると、10時を除いて大潟村の方がかなり小さく推移した(第3図C)。

以上を総合すると、落水状態にあった出穂期以後、大潟村では五城目町に比して気孔開度がかなり小さく推移した。

3. 生長解析

最高分げつ期、出穂期、出穂2週間後におけるCGR, NAR, LAIはつぎのとおりであった(第7表)。

(1) CGR

最高分げつ期においては、大潟村の方が小さかったが、出穂期、出穂2週間後では大潟村の方が大きく、かつかなり大きな値であった。

(2) NAR

最高分げつ期、出穂期、出穂2週間後のいずれの時期においても大潟村の方が大きかった。とくに出穂2週間後において大であり、かつかなり大きな値であった。

(3) LAI

各測定時期とも大潟村の方が低い値を示したが、水稻の生育にともなうLAIの推移は両水田でよく似ていた。

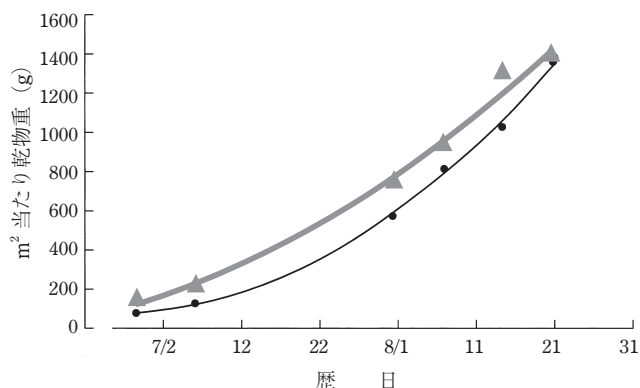
4. m² 当たり乾物重

最高分げつ期頃の増加は大潟村、五城目町ともに大きくなく、出穂期以後急速に増えたが大潟村における増加割合が五城目町を上回り、出穂2週間後頃の登熟初~中期にはおおよそ1400g/m²とかなり高い値となった(第4図)。

第7表 CGR, NAR, LAIの推移.

測定時期	大潟村			五城目町		
	CGR	NAR	LAI	CGR	NAR	LAI
最高分げつ期	5.6	6.1	1.0	9.5	5.2	1.9
出穂期	34.9	8.9	3.8	26.9	5.2	5.3
出穂2週間後	46.3	11.9	3.8	10.5	1.8	5.8

CGR : g/m²/day, NAR : g/m²/day, LAI : m²/m².



第4図 m² 当たり乾物重の推移.

—●—は大潟村, —▲—は五城目町.

考 察

1. 本研究で得られた気孔開度, CGR, NAR, LAI の大潟村と五城目町間の比較. —従来の研究結果と比較しつつ—

(1) 気孔開度について

改良浸潤法で気孔開度を測定した石原ら(1979)の研究では、上位4葉の合計で見ているが本研究では3葉の合計(五城目町の出穂2週間後では、下位葉の枯死によりおおよそ2枚)であり、それより1ないし2枚少なかった。しかし最上位から3枚下の葉の気孔開度は小さい(石原ら1971b)から、4枚目の葉を加えても本研究の値をそれほど上回らないと考えられる。

石原ら(1971a)によれば、気孔開度の日変化とその最大値は「出穂期頃までは生育段階に関係なく午前9時前後に12.5から14.0の最大に達し、以後急速に閉じて正午頃にはかなり小となり、出穂期以後登熟が進むにつれ、出穂約20日後に最大値3.5であるように1日の開度は次第に小さくなる」。本研究においては、大潟村と五城目町とで日変化に相違があったが、最大値は最高分げつ期以後減少し、気孔が閉じ始める時刻についても最高分げつ期で11時頃、出穂期で10時頃、出穂2週間後で12時頃で、石原ら(1971a)の結果より遅く、出穂期以後の最大値は、五城目町では石原ら(1971a)より大きい、大潟村では小さいか(出穂期)やや大きかった(出穂2週間後)。いずれにしても、出穂期以後の大潟村における気孔開度は五城目町よりかなり小さかった。

なお本研究において、相対値 1 のおよそ 3 万 lux と推定される低い照度の場合があったが、個葉の光合成は 4~5 万 lux で光飽和に達するとされること（村田 1961）、晴天より曇天の日の、とくに午後の気孔開度は大きいこと（石原ら 1978a）、個体群内の下位葉は LAI が高くない場合には照度が低くてもよく開くこと（石原ら 1978a）などから、本研究において照度が気孔開度を小さくしたとは考えられない。湿度や気温も気孔開度の大小には影響していないと考えられる。

(2) CGR, NAR, LAI の生育にともなう推移について

従来の研究においては、実験区の平均的茎数の株（蔣ら 1988）、あるいは一定面積の水田から採取した株の中の平均的な生体重の株（齋藤ら 1990）を 10 株選んで測定している。本研究においてはまったくの無作為ではないもののそれに近い 10 株であったから、供試株の選び方に工夫必要であった。したがって CGR, NAR, LAI については各測定時の値そのものでなく全体の傾向をみることにする。

1) CGR

これまでの研究結果では最高分げつ期に約 19 g/m²/day で最も大きいか（齋藤ら 1990）、あるいは最高分げつ期から出穂期頃まで 23 g/m²/day と大きく（蔣ら 1988）、その後登熟が進むにつれて小となっている。

本研究の大潟村においては生育が進むにつれて大となり、出穂期に 35 g/m²/day、出穂 2 週間後に 46 g/m²/day とかなり大きかった。五城目町では最大に達する時期が多少ずれていたものの各生育時期の測定値は従来の結果に類似していた。これらから、五城目町より大潟村の方が大きい傾向があり、出穂期以後に、より明瞭であった。

2) NAR

これまでの研究結果（蔣ら 1988、齋藤ら 1990）では最高分げつ期頃の約 6 g/m²/day を最大とし、以後生育が進むにつれて小となっている。五城目町ではそれらとほぼ同様な傾向であったが大潟村では生育の進行とともに増大し、値も大きかった。

3) LAI

これまでの研究結果（蔣ら 1988、齋藤ら 1990）では、出穂期頃の約 6.0 を最大に、その前後で小となっている。本研究では測定時期が出穂 2 週間後頃までであったが、その範囲では大潟村、五城目町ともにそれらと同様の傾向であった。ただし最大値はそれぞれ 3.8、5.8 で、大潟村の方が小さかった。

2. 大潟村における気孔開度と CGR, NAR, LAI との関係

気孔開度が小であった大潟村において、出穂期以後の CGR が大きい傾向があった。CGR は NAR と LAI との積であるので NAR をみると、大潟村の方が大きく、LAI は大潟村の方が小さかったから、大潟村の CGR が大きかったのは LAI が小さい割に NAR が大きかったためである。

3. 大潟村において出穂期以後における m² 当たり乾物重の増加が大きかった理由

大潟村においては出穂期以後における m² 当たり乾物重の増加が大きく、このことが、この期間の CGR の増大となっているが、m² 当たり乾物重や CGR がこのような推移を示したのは、供試水稻の生育が播種や移植時期の遅れを主な理由として初期に不良であったものが生育の進みとともに回復したためと思われる。また、m² 当たり乾物重がこのような推移を示した理由はつぎのように考えられる。

落水が始まった時期、すなわち幼穂分化期頃の根群はかなり発育が進んでいる（川島 1986b, 1988a, b, c）が、落水によって土壤中に空気が送り込まれて酸化的となり〔この頃の水稲根は培地を還元化する作用が強い（三井・天正 1952）〕、それらの根群の機能の低下を防ぐのに有効であったであろう。またその後に発育する根群（川島 1986b, 1988a, b, c）に対しても、発育を良好にする環境が整えられたと思われる。すなわち従来の研究によれば、土壤中に空気が送り込まれるような条件（酸化的な条件）下では、根群は土壌の深い層に向かって発育し（佐々木 1932、三浦 1933）、発育した冠根は屈曲が多く、分枝根の発生も多いとされる（佐々木 1932、三浦 1933、藤井 1959、1960）。これらから、落水後に発根した根群は根軸のみならず分枝根が発達した領域を含めて土壌の広い範囲から養水分を吸収することが可能となったはずである。登熟期間中に水稻が吸収する窒素量は、作土で無機化された量だけでは不十分であり、心土層からも供給される必要のあることが指摘されており（安藤ら 1990）、このように発育した根群はこの役割も果たしたであろう。なおダイズについてであるが、空梅雨のため土壌が乾燥している条件下（すなわち本研究における、落水後の水田に近い状態に共通すると思われる）においては根群は下層までよく発育し、このような根群は土壌の深層からの水分を吸収する能力に優れるものと推察し（測定が困難であるため吸収力のそのものの測定は行っていない）、開花期以後が干天であっても乾燥によく耐えうとした研究（Hirasawa ら 1994）もある。また、幼穂分化期頃以後の土壌が酸化的であったことは、硫化水素や二価鉄、低級飽和脂肪酸など根に有害な物質の発生を少なくすることに対して有効であったはずである。

4. 気孔開度と光合成、乾物生産との関係

従来の研究結果によれば、気孔開度は光合成速度を左右するので（石原ら 1972、1979）、乾物生産にも大きく影響するはずである。しかし気孔開度と光合成速度との関係に触れた文献は見られる（石原ら 1972、1979）が、さかのぼって気孔開度と乾物生産との関係にまで言及しているものはあまりないようである。これは、ボイセンイェンセン（1982）以来の光合成速度の増大≡乾物生産の増大という関係が存在するという前提のためであろうか。今後検討されなければならない重要な問題と考えられるが、本研究からはつぎの

ように考えたい。

大潟村では気孔開度が小さいにもかかわらず CGR は五城目町より大きかったから、水稻は一般に、晴天の日には強い光強度や低い湿度に反応して気孔を閉じるが、平沢ら (1987) が指摘するように、それによって過度な蒸散を抑制して体内水分含量の低下を防いでおり、結果として気孔拡散伝導度を一定程度の値に保ち、高い光合成速度を維持するように適応し、ひいては高い乾物生産をあげるようになっていると考えられる。大潟村において出穂期以後の乾物重の増加が大きいことは川島 (2009) でも認められている。

なお、晴天の日における水稻体内の水分含量の日変化は小さい (石原ら 1974) から体内水分はそれほど少なくなっているとは考えられず、それが光合成速度を律する要因とはなっていないと推察される。

5. 晴天の日の気孔開度と光合成速度との関係

本研究における落水後の土壤水分含量は 50% 弱であった。Kramer (1983) によれば、この水分含量下では植物は土壤中の水をほとんど吸収できない。すなわち幼穂分化期頃以後、大潟村の水稻の体内の水分含量 (とくに晴天の日において) は早朝から低下し、これに敏感に反応して気孔は閉じ光合成速度も低くなるはずである。

この点に関して、晴天の日の気孔開度は「早朝に最大に達し、以後小さくなる日変化を示し、その最大値は幼穂分化期頃もっとも大きく、以後登熟が進むにつれて小となる (石原ら 1971a)」。その上、「晴天の日 (8 月 28 日で、ほぼ出穂期) の光合成速度は、早朝から光強度の増加に伴い大となって 8 時 45 分に最大値 $39.4 \text{ mg CO}_2/\text{dm}^2/\text{hr}$ を示し (孤立個体で、光強度や CO_2 濃度の条件は相当良好であるため非常に高い値となっている、と推察される)、その後光強度は増加したにもかかわらず次第に減少し、13 時 30 分には $29.3 \text{ mg CO}_2/\text{dm}^2/\text{hr}$ となって夕刻光強度の低下とともに小となる日変化 (石原・齋藤 1987)」であった。すなわちこのように、晴天の日には早朝から気孔が閉じ、その結果光合成速度も早くから低下するとされる。

しかし石原・齋藤 (1987) の第 2 図をみると、気孔開度が小さくなった後のかなり長い時間、すなわちほぼ一日をとおして $30 \text{ mg CO}_2/\text{dm}^2/\text{hr}$ 近くの非常に高い光合成速度が維持されている。

これらから、日射が強く、湿度が低く、蒸散が盛んな晴天の日で気孔開度が小となるような日であっても、光合成は 1 日中高い速度で推移し、このことが大潟村産あきたこまちのバイオマスが $1.5 \text{ t}/10 \text{ a}$ [うち出穂期後の乾物増加量は約 $600 \text{ kg}/10 \text{ a}$ にも達すること (川島 2009)]、一般に「干天に不作無し」と言われること、アメリカ・カリフォルニア州やオーストラリア、イタリア、スペイン、エジプトなどの日射量の多い地域や国、さらにはアジアモンスーン地帯の乾季作で高い収量が得られていることの要因であると

考えられる [一例は Tanaka ら (1987) に見られる]。

なお大潟村では地下水位が高く、本研究で採取した土壤より下層にも根は分布する (佐藤 1995) ので水稻はその部分からの吸水は可能であり、それによって一定の体内水分含量が維持されていたと考えられる。

以上からまた、つぎの指摘も可能であろう。すなわち水稻は祖先種の起源地に由来して沼沢植物とされ、その栽培は湛水下で行われることが常識的である。しかし上述のように、少なくとも幼穂分化期頃以後は湛水条件は必ずしも必要ないのである。すなわち第 2 表に示したように、大潟村においては 5 月 15 日頃の移植から 7 月 10 日頃までのおよそ 60 日間は湛水されるが、その後 9 月下旬の収穫に至るおよそ 70 日間 (水稻体はこの間の方が遙かに大きい) は、「花水」と称して豊富な水供給が必要とされる出穂・開花期を含めて湛水されない。なおこの利点として、1) コンバイン収穫に備えて地耐力を高めることができる、2) 硫化水素や二価鉄、低級飽和脂肪酸などの根に有害な物質が生成されない (田中ら 1961)、3) 7 月 10 日頃は幼穂分化期の直後に当たって根の形成が盛んな時期である (川島 1988c) が、この時期に水田土壤中に酸素が豊富に存在すると、それまでに発育してきた根の老化が抑制されるとともに、その後の根の発育が旺盛になると考えられ、4) 土壤有機物の無機化が進んで、この時期以降の土壤からの養分供給が増大し (和田ら 1971)、登熟期の乾物生産に有効に作用する、5) 落水下にあるため有機物が分解されても温室効果の高いメタンの生成は少ない、などが挙げられる。

6. 考察 3, 4, 5 をもとにして考えられる水稻栽培のあり方の概略

本研究、とくに考察 3, 4, 5 をもとに、従来の研究成果を加えて水稻栽培のあり方について考えてみたい。

一定程度の高い収量 (現在の収量以上の水準) を上げるには、乾物生産の増大が必要で、そのためには茎の伸長が始まる幼穂分化期頃以後の高い光合成速度の維持が不可欠であり、その時期の気孔開度 (気孔伝導度) の低下を防がなければならない。とくに収量に大きく影響する登熟期にその必要性がある (戸荏ら 1954, Yamada ら 1956, 松島ら 1966, 武田 1971, 村田 1976)。

しかし登熟期においては、地上部、すなわち葉はすべて展開し終って老化過程にある [川島 (2009) の指摘のように、葉面積はそれ程大きくないが、登熟完了まで主要な同化器官として機能する止葉については、出穂後およそ 1 週間は光合成速度が高まって、以後少しずつ低下し (武田・丸太 1956, 黒田・玖村 1990)、それより下位の葉では展開完了後一貫して低下する (和田 1988, 黒田・玖村 1990, Sasaki and Ishii 1992)]。したがって下葉から枯れ上がって LAI は減少し、かつ、根へ炭水化物供給の役割を担う下位葉 (田中 1958) の葉面積は少なくなって呼吸に必要な基質の不足により根の呼吸が衰え (山口ら 1995)、登熟後期の根の活力が低下

する。すると、根でのサイトカイニン生成（折谷・葭田 1969, Yoshida ら 1970）が不活発となって、地上部の老化を一層助長する（延・太田 1973）。一方、地下部すなわち根群も出穂期の頃に發育を終了し（分枝根を含めて、川島 1986a, 1988a, b, c）、登熟期には老化過程にある（山川・岸川 1957, 稲田 1967, 川島 1986a）。併せて、最高分げつ期頃以降は土壤からの養分供給も減少する（和田ら 1971）。

したがって登熟期の水稻を、高い光合成速度を維持させるようにするには、まず、基盤整備によって用排水の分離を図るとともに、暗渠を設置する。さらに地力の培養を図っておく。その上で、初期生育を抑制気味にして秋優り型の生育にする〔このことは、保温折衷苗代などによる早期・早植栽培が始まって以来の原則となっている（島山ら 1958, 田中 1962, 佐本 1966, 木根測 1969）〕。方法としては後期重点の施肥法と秋田県大潟村のような「深水灌漑」、すなわち活着直後は苗の葉先が出る程度の 7 cm 位とし（秋田県立大学教授千葉和夫氏のご教示による）、以後中干し近くまで 10 cm 強に保つ。ただしこの間に決まる穂数の多少はシンクサイズを規定する第一歩であって、収量が高い秋田県ですらさらなる増収のためにはもう一段の増加を図る必要がある（川島 2009）ことを考慮して、である。また、北海道の水稻においては主稈葉数が少なく有効分げつ節位が限られる（田中 1956, 川島 1977, 1985a）ため、浅水により水温を上昇させて初期生育の促進を図らねばならないし、西日本において、北陸系の品種を用いて移植期が遅く、そのために栄養生長期間が短くなる栽培では穂数不足になるおそれがあるのでこの限りではない。

このような初期生育の抑制により、生育初～中期に吸収される土壤養分は少量で、その分が後期に回せる。また、深水であるため土壤は酸素不足の状態にあって有機物の分解が進まず、根に有害な物質の生成がない（いわゆる「わき」がない）。これによって有効茎歩合が高まり（荒井・宮原 1956, 川島・村上 1985b, 川島 2009）、かつ 1 穂初数の増大によって m^2 当たり初数を確保でき（川島 2009）、雑草防除も相当程度できる（荒井・宮原 1956）。1 穂初数が増大すると、1 株を構成する初の開花・受粉・受精、さらには登熟に変異が増大して（長戸 1941）、初間の成熟の差が大きくなり（長戸 1941）、品質上に問題を生じることが考えられる。しかし、そのような問題を引き起こすほどには 1 穂初数は多くならない（川島 2009）。有効茎歩合が高いと、株当たり茎数は少ないがそれぞれの茎は太くなり、そこから発根する直径の太い 1 次根数が多くなる（川田ら 1978）。すると、株の斜下ないし直下方向に伸長する根が多くなって（山崎ら 1981）、高い収量を上げるに必要とされる根群配置（副島ら 1978）ともなる〔ただし山崎ら（1981）によれば、幼穂分化期後に発根する 1 次根では基部直径と伸長方向との相関関係は低くなるとされるが、それらのうちの最上位 2～3 要素の下位根の伸長終了後の長さは長くない（川島 1986b）、全根群中に占める長さや表面積などの

割合は比較的小さいと考えられるので、直径が太い 1 次根の多くは株の斜下ないし直下方向に伸長するものが多いと考えてよいであろう〕。このような根群配置は、後述する排水を重視する水管理によって一層促進される（佐々木 1932, 三浦 1933, Hirasawa ら 1994）。また茎基部の直径が太いことは、倒伏防止にも繋がる。なお武田（1971）や津野（1976）、角田（1987）らの多収理論（これらにおいては限界収量に近い水準が想定されている）では、生育初期から高い乾物生産態勢をつくりあげ、その態勢を登熟後期まで維持する必要があるとされる。しかしそれでは生育初～中期の過剰生育を招く〔田中（1962）の指摘のように、寒高冷地ですら、ビニール畑苗等による健苗の登場後の早植え、基肥重点の施肥法では初期生育が過剰傾向となっている。ただし武田（1971）や津野（1976）は LAI がある段階に達した後の過剰な茎数の増加は戒めている〕。

有効分げつ期後期には透水性を付与し、酢酸を主とする根に有害な低級飽和脂肪酸の除去を図る（川田・石原 1961）とともに、中干しによって幅 5 mm 強程度の亀裂を生成させる。以後「間断灌漑」（土壤中に酸素を供給するため、できるだけ排水期間を長くする。夏期高温時の「冷水の掛け流し灌漑」を含む）、あるいは地下水位の高い所、すなわち排水不良で土壤の下層が酸素不足になりやすい所では灌漑を止めて天水に依存することとする。このような水管理によって土壤中に酸素が供給されて根が健全となり、根に有害な硫化水素や二価鉄（田中ら 1961）、低級飽和脂肪酸などの生成が抑制され、限られた用水を有効に使うことにもなる。

なお冷害対策が必要な地域（北海道、東北地方の太平洋側の一部地域、および標高の高い所や冷や水掛かりの所）では前歴期間および減数分裂期に深水灌漑（Satake and Hayase 1987, Satake ら 1988）、東北地方のほとんどの地域では減数分裂期のみ深水灌漑を行なう。その際施肥法として、前者の場合には肥効調節型緩効性肥料の基肥全量施肥（佐藤ら 1994）によるか、幼穂形成期や減数分裂期に化学肥料の追肥により、後者では、追肥ができないので肥効調節型緩効性肥料の基肥全量施肥によって対応する。

以上によって、幼穂分化期頃以後引き続いて起こる根群の發育（川島 1986b, 1988a, b, c）促進と出穂期以後の老化抑制が図られて養水分の吸収やサイトカイニンの生成など根の機能が維持され、気孔開度が一定程度に保たれるなど地上部の生育は良好となる。培養された地力によって地上部への養分供給の継続が図られ光合成速度の低下が防がれて登熟歩合が向上し、収量の向上につながる、と考えられる。実際、ほぼ幼穂分化期の頃から落水されて水稻に対する水分供給がかなり制限される大潟村において、収穫期の m^2 当たり地上部乾物重は 1500 g 強〔内、穂重 720 g（川島 2009）。この水稻の収量は 627 kg/10 a〕で、この重さは、日本型品種の中で比較的高い収量が得られている報告例の中で徐ら（1997）が品種「タカナリ」の超多収性要因解析

で比較の対照とした「日本晴」の収穫期の地上部重 1820 g には及ばないものの、穂重 748 g にほぼ匹敵し、大潟村の地上部重、穂重は相当高い値である〔日本晴でこれらの値が得られた実験年次の 8, 9 月の日照時間はそれぞれ 200 時間超と稀に見る好天で、それがこのように大きな乾物生産をもたらしたと思われる。ただし日本晴の収量は 656 kg/10 a で、地上部重が大きい割に収量は高くない〕。なおこのような乾物生産には高い CGR と NAR が必要であるが、上述のとおり大潟村の水稲はこのような条件を達成している。得られる玄米も高品質である (川島 2009)。 (なおこのような水管理を行うと降雨が少なく、蒸発が盛んな水田では地表に塩類の集積が懸念され、また、水棲小動物の死滅による生態系への問題が生じる懸念があるし、カドミウム汚染のおそれがある水田も、出穂期を中心とする時期には不溶性にするため湛水状態にしておかなければならない)。

なお、根の機能が良好であれば葉の光合成能力は高まり、光合成能力が高まると根の機能は良好となるように地下部・地上部間に相互に密接な関係がある (Murata ら 1965) ので、以上のような栽培法によって生育後期の根の発育促進・老化防止が図られて地上部は健全になり、さらにそれが地下部を健全にするという好循環を生むことになる。

謝辞：本研究を行うに当たり JA 湖東猿田始課長、八郎潟町八柳一義氏、本学生物資源科学部田代卓准教授、千葉和夫教授、松本聡教授、金田吉弘教授にお世話になった。秋田県立大学図書・情報センター小森裕子さん、石黒こずえさん、服部浩之教授には文献の蒐集に当たってお世話になった。記して謝意を表します。

引用文献

- 安藤豊・藤井弘志・中西政則 1990. 山形県庄内地域のグライ水田下層土における地力窒素の無機化特性について. 土肥誌 61 : 466-471.
- 荒井正雄・宮原益次 1956. 水稲の本田初期深水灌漑による雑草防除の研究. 第 1 報 : 雑草の群落構造及び雑草量に及ぼす影響. 第 2 報 : 水稲の生育収量に及ぼす影響. 日作紀 24 : 163-165.
- ボイセン イェンセン 1982. 植物の物質生産. 門司正三・野本宣夫訳. 東海大学出版会, 東京. 1-248.
- 延圭復・太田保夫 1973. 水稲葉の老化と根の活力との関係. 日作紀 42 : 13-17.
- 藤井義典 1959. 水稲における分岐根の発達について. 日作紀 28 : 15-16.
- 藤井義典 1960. 水稲における分岐根の発達について. その 2. 日作紀 29 : 66-68.
- 平沢正・荒木俊光・石原邦 1987. 水稲の吸水速度と蒸散速度の相互の関係について. 日作紀 56 : 38-43.
- Hirasawa, T., K. Tanaka, D. Miyamoto, M. Takei and K. Ishihara 1994. Effects of pre-flowering soil moisture deficits on dry matter production and ecophysiological characteristics in soybean plants under drought conditions during grain filling. Jpn. J. Crop Sci. 63 : 721-730.
- 稲田勝美 1967. 水稲根の生理的特性に関する研究. - とくに生育段階ならびに根の age の観点において -. 農技研報 D16 : 19-156.
- 石原邦・石田康幸・小倉忠治 1971a. 水稲葉における気孔の開閉と環境条件との関係. 第 2 報 気孔開度の日変化について. 日作紀 40 : 497-504.
- 石原邦・石田康幸・小倉忠治 1971b. 水稲葉における気孔の開閉と環境条件との関係. 第 3 報 異なった葉位の葉身における気孔開度およびその日変化の相違について. 日作紀 40 : 505-512.
- 石原邦・佐合隆一・小倉忠治・牛島忠広・田崎忠良 1972. 水稲葉における気孔の開閉と環境条件との関係. 第 4 報 気孔開度と光合成速度との関係. 日作紀 41 : 93-101.
- 石原邦・石田康幸・小倉忠治 1974. 水稲葉身の葉面積当たり含水量の日変化について. 日作紀 43 : 77-82.
- 石原邦・佐合隆一・小倉忠治 1978a. 水稲における気孔の開閉と環境条件との関係. 第 6 報 水田の最周辺部と内部に生育した水稲の気孔開度の日変化について. 日作紀 47 : 515-528.
- 石原邦・江原宏昭・平沢正・小倉忠治 1978b. 水稲葉における気孔の開閉と環境条件との関係. 第 7 報 葉身のチッ素濃度と気孔開度の関係. 日作紀 47 : 664-673.
- 石原邦・平沢正・飯田修・小倉忠治 1979. 水稲葉身の小さい気孔開度の測定法. - 改良浸潤法について -. 日作紀 48 : 319-320.
- 石原邦・齋藤邦行 1987. 湛水状態の水田に生育する水稲個葉光合成速度の日変化に関する要因について. 日作紀 56 : 8-17.
- 蔣才忠・平沢正・石原邦 1988. 水稲多収品種の生理生態的特徴について. - アケノホシと日本晴の比較 -. 日作紀 57 : 132-138.
- 川島長治・伊藤文円 1977. 水稲における主稈葉数と冠根の出現した要素数との関係. 日作紀 46 : 343-351.
- 川島長治 1985a. 水稲において、冠根の出現しない要素数が主稈葉数によって異なることの要因について. 日作紀 54 : 220-225.
- 川島長治・村上保 1985b. 「深水管理」した水稲生育の一例. 日作東北支報 28 : 33-35.
- 川島長治 1986a. 水稲における、冠根の出現しなかった要素数と登熟期の養水分吸収力との関係. 日作紀 55 : 306-313.
- 川島長治 1986b. 水稲の、地上部の生育にともなう冠根の伸長の様相について. 日作紀 55 : 408-419.
- 川島長治 1988a. 水稲の根系形成に関する研究. 第 1 報 主稈における分枝根の生育. 日作紀 57 : 8-18.
- 川島長治 1988b. 水稲の根系形成に関する研究. 第 2 報 分げつにおける分枝根の生育. 日作紀 57 : 18-25.
- 川島長治 1988c. 水稲の根系形成に関する研究. 第 3 報 根の数、長さ、体積、表面積の推移. 日作紀 57 : 26-36.
- 川島長治 2009. 秋田県における水稲の生育・収量、および乾物生産についての大潟村と県南部との比較. 日作紀 78 : 371-381.
- 川田信一郎・石原邦 1961. 水稲根の根毛形成に対する低級飽和脂肪酸の作用について. 日作紀 30 : 72-78.
- 川田信一郎・原田二郎・山崎耕宇 1978. 水稲茎部に形成される冠根始原体の数および直径について. 日作紀 47 : 644-654.
- 木根測旨光 1969. 水稲稚苗栽培技術の確立ならびに機械化技術における実証的研究. 東北農試研報 38 : 1-151.
- Kramer, P.J. 1983. Water Relations of Plants. Academic Press. New York, 68.
- 黒田栄喜・玖村敦彦 1990. 圃場条件下における水稲個葉の光合成の実態とその解析. 第 5 報 上位葉の光合成の長期的にみた変動. 日作紀 59 : 113-119.

- 松島省三・山口俊二・真中多喜夫・岡部俊 1954. 水稻収量予察の作物学的研究 (予報). 主要時期に於ける日射強度が水稻の収量並に収量構成 4 要素に及ぶ影響. 日作紀 22 : 107-108.
- 松島省三・和田源七・田中孝幸・松崎昭夫・星野孝文 1966. 水稻多収原理の探索 [4]. - その実証と応用 -. 農及園 41 : 817-822.
- 三井進午・天正清 1952. 作物の養分吸収に関する動的研究. 第 3 報 亜硝酸の生成より見たる水稻根の還元力と生育期. 土肥誌 22 : 301-307.
- 三浦肆久樓 1933. 排水地と停滞水地との稲田における水稻の根の發育関係. 日作紀 5 : 305-313.
- 村田吉男 1961. 水稻の光合成とその栽培学的意義に関する研究. 農技研報 D9 : 1-169.
- Murata, Y., J. Iyama, and T. Honma 1965. Studies on the photosynthesis of rice plant. XIII. On the interrelationships between photosynthetic activity of the leaf and physiological activity of the root. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 31 : 148-153.
- Murata, Y. 1975. 3.6 The Effect of climatic factors and ageing on net assimilation rate on crop stands. In Murata, Y. ed., JIBP Synthesis. Vol. 11. Crop Productivity and Solar Energy Utilization in Various Climates in Japan. Univ. Tokyo Press, Tokyo. 172-186.
- 村田吉男 1976. 第 4 章 作物生産と栽培環境. 村田吉男・玖村敦彦・石井龍一共著, 作物の光合成と生態. - 作物生産の理論と応用 -. 農文協. 東京. 147-150.
- 長戸一雄 1941. 穂上位置に依る米粒成熟の差異に就いて. 日作紀 13 : 156-169.
- 折谷隆志・葭田隆治 1969. 作物の窒素代謝に関する研究. 第 4 報 水稻葉の葉緑素レベルに及ぼす化学物質並びに水稻根より抽出されたサイトカイニン様物質の影響について. 日作紀 38 : 459-465.
- 齋藤邦行・下田博之・石原邦 1990. 水稻多収性品種の乾物生産特性の解析. 第 1 報 密陽 23 号と日本晴の受光態勢の比較. 日作紀 55 : 352-359.
- 佐本啓智 1966. 水稻早期, 早植栽培の生態に関する研究. とくに東海近畿地域における早期, 早植栽培の多収機構と栽培時期の移動について. 東近農試報 15 : 1-43.
- 佐々木喬 1932. 水稻根群の形貌に関する豫報. 日作紀 4 : 200-214.
- Sasaki H. and R. Ishii 1992. Cultivar differences in leaf photosynthesis of rice bred in Japan. Photosyn. Res. 32 : 139-146.
- Satake, T. and H. Hayase 1987. Male sterility by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXVII. Effect of water temperature and nitrogen application before the critical stage on the sterility induced by cooling at the critical stage. Jpn. J. Crop Sci. 56 : 404-410.
- Satake, T., S.Y. Lee, S. Koike and K. Kariya 1988. Male sterility by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXVIII. Prevention of cool injury with the newly devised water management practice. - Effect of the temperature and depth of water before the critical stage. Jpn. J. Crop Sci. 57 : 234-241.
- 佐藤照男 1995. 干拓地土壌における間隙構造の発達と物理性の改善に関する研究. 秋田農短大研報 21 : 1-69.
- 佐藤徳男・渋谷暁一・三枝正彦 1994. 苗箱全量施肥水稻の耕起, 不耕起田での生育推移. 日作東北支報 37 : 39-40.
- 副島増夫・川田信一郎・山崎耕宇 1978. 水稻における“うわ根”の形成量と収量との関係. 日作紀 47 : 617-628.
- 武田友四郎・丸太宏 1956. 作物の瓦斯代謝作用に関する研究. IV. 水稻の登熟期における種々の同化器官の稔実への貢献のしかた. 日作紀 24 : 181-184.
- 武田友四郎 1971. 10. 収量限界と多収理論. 戸荻義次監修 作物の光合成と物質生産. 養賢堂, 東京. 377-391.
- 田中明 1956. 葉位別に見た水稻葉の生理機能の特性及びその意義に関する研究 (第 2 報). 各葉位の葉の生理機能の比較. 土肥誌 26 : 3-7.
- 田中明 1958. 葉位別に見た水稻葉の生理機能の特性及びその意義に関する研究 (第 11 報 [完]). 各葉位葉の同化作用及び同化産物の移動. 土肥誌 29 : 327-333.
- 田中市郎・野島数馬・上村幸正 1961. 水田における透水が水稻の生育に及ぼす影響. 第 II 報 水田の透水量の多少が水稻の生育収量, 土壌中の $\text{NH}_3\text{-N}$, H_2S , free- CO_2 等に及ぼす影響. 日作紀 29 : 392-394.
- 田中稔 1962. 5石取り稲作の構想と実際 [1]. 農及園 37 : 25-28.
- Tanaka, T., A.F. El Sahrighi, O. Kamel, S. Sugawara, F. El Nemr, T. Namb a, A. El K. El Tanga, Y. Kimura, M. Abbas and K. Miura 1987. Establishment of mechanized rice cultivation in Egypt. Trop. Agr. Res. Ser. 20 : 72-81.
- 戸荻義次・岡本嘉・玖村敦彦 1954. 水稻に於ける炭水化物の生産及び行動に関する研究. 第 1 報 生育に伴う諸器官中の主要成分含量の推移. 日作紀 22 : 95-97.
- 鳥山国土・和田純二・逢原雄三 1958. 水稻早植栽培に伴う障害型冷害型とその対策. - 昭和 32 年の青森県における事例 -. 農及園 33 : 1043-1047.
- 津野幸人 1976. イナ作多収穫論. 農業技術体系 作物編 2. 農文協, 東京. 59-104.
- 角田重三郎 1987. 草型研究の歴史と展望. 育種学最近の進歩. 28 : 29-39.
- 和田源七・庄子貞雄・高橋重郎 1971. 水田における窒素の動態と水稻による窒素の吸収について. 第 1 報 基肥窒素の吸収. 日作紀 40 : 275-285.
- 和田義春 1988. イネ個葉の光合成特性の老化にともなう変化. 宇大農学报特輯 49 : 1-44.
- 徐銀發・大川泰一郎・石原邦 1997. 水稻多収性品種タカナリの収量と乾物生産過程の解析. - 1991年から1994年の4年間 -. 日作紀 66 : 42-50.
- Yamada N., Y. Murata, A. Osada and J. Iyama 1956. Photosynthesis of rice plant. III. Proc. Crop Sci. Japan 24 : 246-253.
- 山口武視・津野幸人・中野淳一・三木幸次 1995. 水稻の登熟前半の粒重に及ぼす葉身窒素濃度の影響ならびに根部呼吸速度と初当たり葉面積との関係. 日作紀 64 : 251-258.
- 山川寛・岸川英利 1957. 暖地における水稻の栽培時期に関する研究. III. 地下部の発達, 水田土壌の温度, 及び酸化還元電位に及ぼす栽培時期の影響. 佐賀大農報 5 : 41-96.
- 山崎耕宇・森田茂紀・川田信一郎 1981. 水稻冠根の伸長方向と直径との関係. 日作紀 50 : 452-456.
- Yoshida, Y., T. Oritani and A. Nishi 1970. Studies on nitrogen metabolism in crop plants. VIII. Occurrence of kinetin-like factor in root exudate of rice plants. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 39 : 363-369.

The Relationships between Stomatal Aperture and the Crop Growth Rate, Net Assimilation Rate, Leaf Area Index and Dry Matter Production in Paddy Rice. –Focused on the consequences of the water management protocol in Ohgata Village– : Choji KAWASHIMA, Dai MATSUMOTO and Atsushi OGAWA (*Fac. of Bioresources Sci., Akita Pref. Univ., Akita 010-0195, Japan*)

Abstract : In Ohgata Village, paddy rice is grown under very low soil water condition after the panicle differentiation stage, because the residual water in the paddy field is drained to facilitate a combine harvesting. The water content of the rice plant and the stomatal aperture are expected to be reduced under these conditions, and it is also conjectured that the photosynthetic rate is reduced by the poor soil water supply resulting in reduced dry matter production. However, the yield in Ohgata is very high. In this study, we investigated the relationships between the stomatal aperture and crop growth rate (CGR), net assimilation rate (NAR), leaf area index (LAI) and dry matter production in Ohgata in comparison with those in nearby Gojome where paddy rice was cultivated by conventional water management. The stomatal aperture in Ohgata was smaller than that in Gojome. However, CGR in Ohgata was higher than that in Gojome. These results show that even on sunny days with high-intensity light, low humidity and high transpiration, the water content of the rice plant is maintained at a certain level by closing stomata to adapt to such ambient environments and photosynthetic rate is kept high through-out the day. From these results, we propose the outline of our rice cultivation theory.

Key words : CGR, Dry matter production, LAI, NAR, Ohgata Village, Panicle differentiation stage, Photosynthetic rate, Stomatal aperture.
