

天竜川上流域の多収穫水田における日射エネルギーの利用

井上直人・小松有紀・萩原素之

信州大学農学部食料生産科学科

Use of solar radiation energy in a high yielding field of rice at the upper stream area of Tenryu river

Naoto INOUE, Yuki KOMATSU and Motoyuki HAGIWARA

Department of Crop and Animal Science, Faculty of Agriculture, Shinshu University

要旨：天竜川上流域のイネ多収穫栽培の要因解析を行うために、伊那市で毎年1t 近くの反当収量をあげている多収穫水田(H)にて2年間フィールド調査を行った。その結果、Hでは平均的な収量の水田(C)に比べて光合成有効放射(PAR)や吸収PAR(APAR)は低かったがAPARの乾物への変換効率(Cs)は高く、特に出穂1ヶ月前にはCの約2倍に達した。このことからHではCsが高いことが多収穫の要因の一つであると考えられた。また、Csが高かった幼穂形成期の窒素保有量及び窒素吸収量とCsとの間に相関関係はみられず、Hでは深水及び中干しといった栽培管理による無効分げつの減少と群落構造の改善、そして微気象などの要因がCsと深く関わっていることが示唆された。

Abstract: To clarify the factors of high yielding in the paddy fields at the upper area of Tenryu river, we investigated, in 1998 and 1999, the photosynthetically active radiation (PAR) and the growth of rice at two sites; one is a high yielding site (H) at the foot of a mountain in Ina city, which produces 100 g/m² for brown rice and another one is an average site (C) on a hill in Minamiminowa village, which produces 70 g/m². PAR and absorbed PAR (APAR) at site H were lower than those at site C. However, the conversion ratio (Cs) of dry matter production to APAR in H was higher than in C and was about 2 times higher a month before heading. Therefore, we concluded that the higher Cs caused higher growth rate and brown rice yield in H. There was no correlation between Cs at the panicle formation stage and the amount of nitrogen content or nitrogen absorption during that stage. Plant canopy structure induced by a characteristic water management and micro-meteorological conditions in H were suggested to be possible causes of higher Cs in H.

Key words: Deep flooding, Efficiency of dry matter production, High yielding field, Midseason drainage, Rice, Tenryu river

イネ, 乾物変換効率, 深水栽培, 中干し, 多収穫水田, 天竜川

はじめに

天竜川上流域は中央アルプスや南アルプスに囲まれており、特に伊那市や南箕輪村周辺には山が迫っているため年間の一日当たりの平均日射量は $7.2 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ であり、日本の平均とみなされる国際生物学事業計画 (JIBP) の 5 ヶ年の平均値 $16.1 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ (村田ら 1975) に比べてかなり低めなために作物生産には不利と思われる地域である。

一般的に日射量が多いほど多収となる傾向があり (Monteith 1977, Evans 1993), イネでも生育期間の日平均日射量と収量との間には比例的な関係がみられる (吉田 1981)。このことからすれば、天竜川上流域の山間地帯は作物生産の潜在力の低い地帯ということになる。実際に昭和に至るまで特に変わった記録は見当たらない。

しかし、こうした不利な日射条件にもかかわらずこの地で農業を営んでいる唐木要氏は毎年反当収量 1000 kg 近くをあげており (松島ら 1989, 1995), 全国でもトップレベルの多収の記録を持っている。唐木氏をはじめとするこの伊那市及び南箕輪村の多収稲水田において松島ら (松島ら 1989, 1995) は数年前まで多収稲の要因解析を行ってきたが、それらはいずれも収量構成要素にもとづく解析であり、日射エネルギーの利用の実態は全く不明であった。このような事例を解明することは、従来考えられていた気象的要因によって考えられる生産性の限界を打破することに繋がるかもしれない、すなわち新しい食料生産技術を開

発する糸口をつかめるかも知れないという期待を持ったわけである。

このような考えのもとに我々は日射量が十分に得られていない天竜川上流域の山間地帯でなぜこのように高い収量を得ることができるのか、その要因を主にエネルギー収支の面から解析することを目的としてフィールド調査を行ったのでその結果を報告する。

材料および方法

標高約 1000 m に位置する伊那市横山の唐木要氏水田 (以下「H」と略す) にて 1998, 99 年の 2 年間調査を行った。耕種概要については第 1 表に示した。ここで栽培されている水稻品種はもちひかりであり、1 つの圃場を 3 等分して各々の場所で移植後の 6 月下旬から約 10 日間隔で収穫期まで調査を行った。それぞれのサンプリングでは 5 株を採取し根を切除して地上部のみを調査対象として茎数、草丈、葉面積を測定した。その後 80°C で約 48 時間乾燥させ乾物重の秤量を行った。収穫期には各処理区でサンプリングを実施した 1 区画当たり無作為に 10 株を刈り、刈り取った全株を対象に穂数と穎花数を測定した。その後、塩水選で登熟歩合を求め、沈んだ穎花について精玄米千粒重と精玄米収量を測定した。また次式の日射利用に関するモデル、

$$dw/dt = Cs \cdot S \cdot (1 - r) \cdot \exp[-k \cdot LAI]$$

を用いて乾物生産の解析を行った。ここで Cs は乾物変換効率、 S は群落上面における光合成有効

第1表 耕種概要。()内は 1 m^2 当りの g

場所	移植日	水系	基 肥			田植時	追肥	推定年間投入量		
			秋	春				N	P	K
H	6/10 5/10(99)	小黒川 の水	溶燐(80) ¹⁾	ワラ(700)	砂状ケイカル(190)	BB側条施肥 専用2号(50) ⁵⁾	BBNKC201号(30) ⁶⁾⁷⁾	12	38	18
			ケイ酸加里(40) ³⁾	BMダブリン(40) ²⁾						
C	5/20	諏訪湖 の水	溶燐ケイカル(160)	ベストユーキ2号(40) ⁴⁾		なし	BBNKC201号(20) ⁸⁾	7.2	18	4.8
			ワラ(300)	BMダブリン(40)						

1) P_2O_5 :20% 2) P_2O_5 :35% 3) K_2O :20, SiO_2 :30% 4) N :8, P_2O_5 :10, K_2O :7% 5) N :12, P_2O_5 :16, K_2O :14% 6) N :20, K_2O :10%

7) 7/18, 22, 28 に 10 kg ずつ施用(99年は 7/17, 20, 25) 8) 7/22, 28 に 10 kg ずつ施用

第2表-a 収量とその構成要素.(1998と99の平均値)

場所	株数 [no./m ²]	1株穂数 [no.]	穂数 [no./m ²]	1穂粒数 [no.]	全粒数 [no./m ²]	登熟歩合 [%]	玄米千粒重 [g]	玄米収量 [g/m ²]	乾物収量 [g/m ²]	収穫指数 [%]	出穂日
H	26.6	23.7	632.3	69.6	44128	92	20.8	850	1607	53	8/3
C	20.0	22.3	447.4	79.2	35485	87	22.0	693	1354	52	8/6

第2表-b 収量とその構成要素.(1999)

場所	株数 [no./m ²]	1株穂数 [no.]	穂数 [no./m ²]	1穂粒数 [no.]	全粒数 [no./m ²]	登熟歩合 [%]	玄米千粒重 [g]	玄米収量 [g/m ²]	乾物収量 [g/m ²]	収穫指数 [%]	出穂日
H	26.6	21.1	565	68.2	38556	87	20.8	696.1	1300	54	8/3
もち(M)	20.4	20.6	422.8	69.8	29594	84	20.8	517	994	52	8/4

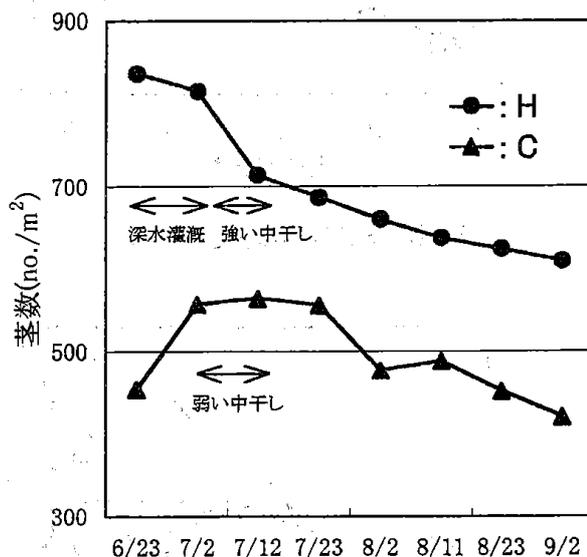
積算放射量, r は反射率, k は吸光係数を示す. なお, k は群落上面の PAR_0 (群落上面に投下される PAR から群落によって反射される PAR を差し引いた PAR) と, 地際において測定された PAR と LAI の関係式,

$$PAR = PAR_0 \cdot \exp[-k \cdot LAI]$$

により求めた.

畦から 5m 内側の群落上部 (地上から約 1.5m) と内部 (地上から約 20 cm) に, 波長 400~700 nm 間のフォトン量を測定する光量子センサー PAR-01 (株式会社プリード製) を設置し, 全天候型測定データ記録装置 KADEC-UP (コーナシステム株式会社製) にて 5 分間の電圧積算データを記録した. また, 群落内部の気温と水温を測定するために, 記憶計 SK-L200T (株式会社佐藤計量器製作所製) を設置し, 10 分間隔で測定した. 両測定ともサンプリング開始日から終了日まで全期間を通して行った. 99 年には, 唐木氏の水田のみではあるが, 風車型風向風速計を用いて 1 時間ごとの平均風速を測定し, 風専用全天候型測定データ記録装置 KADEC-KAZE (株式会社プリード製) にて記録した. また, 乾燥後のサンプルは, 乾物生産の解析により特に重要と考えられた期間のサンプルを対象に, セミマイクロケルダール法により全窒素の分析を行った. なお, 比較のために信州大学農学部水田 (コシヒカリ) においても同様の調査を行った (以下「C」と略す). 結果は 98, 99 年の平均で示した.

また, 品種の要因を除去するため, 99 年には信



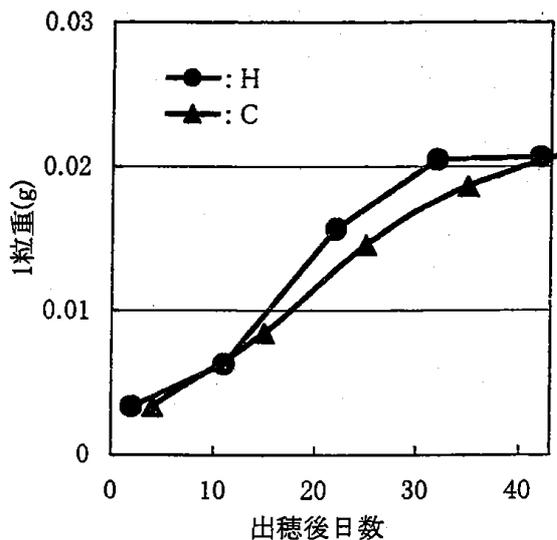
第2図 茎数の推移.

州大学水田においてコシヒカリと同様の方法でもちひかりの栽培を行い, 98 年の調査で特に重要と思われた出穂期前後の時期の生育及び収量について同様に比較調査を行った.

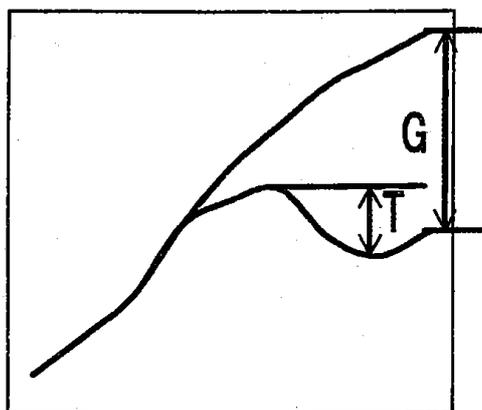
結果

1. 収量ならびに物質生産

両水田の玄米収量を比較すると 10a 当りに換算して H が C の約 1.2 倍の 850 kg であった. この数値は 2 年間の平均値でありこれを見ると H の玄米収量は 1 t に達しなかったが, 98 年のみの結果を見ると 10 a 当たりで 1005 kg と 1 t を超える収量を得ていた. また H の乾物収量は約 1600 kg/10a で, これは C の約 1.2 倍であった (第 2 表-a).



第3図 1粒当たりの重さの推移.



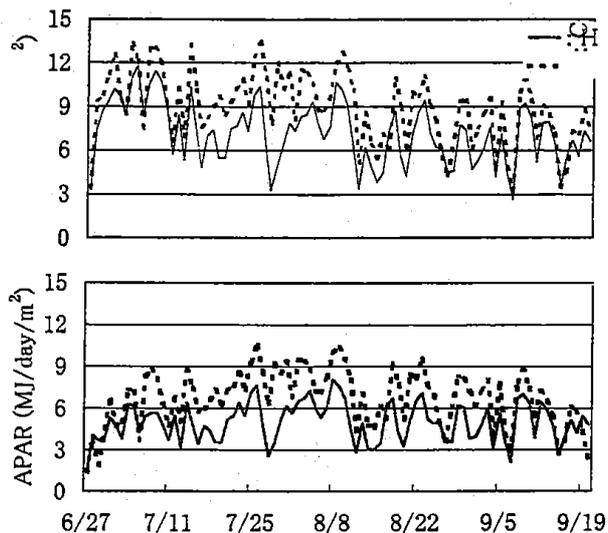
第4図 光合成産物の転流・再転流の概念図.

第3表 光合成産物の転流量(P)
・再転流量(T)の比較.

	H	C
G (g/m ²)	895.7	687.8
T (g/m ²)	305.9	278.8
P (g/m ²)	589.8	408.9
T/G (%)	34.1	40.5

注:P=G-T

乾物重の推移 (第1図), 茎数の推移 (第2図) を比較するとどちらも全調査期間を通してHがCより大きな値で推移していた. とくに茎数の推移



第5図 PAR及びAPARの推移.

の仕方は一般的な推移のパターンとはかなり異なっており, 調査を開始した6月下旬にはすでにm²当たりで800本に達し, 以降減少した. 両水田の有効茎歩合はHが68.5%, Cが62.5%でHの方がやや高かった.

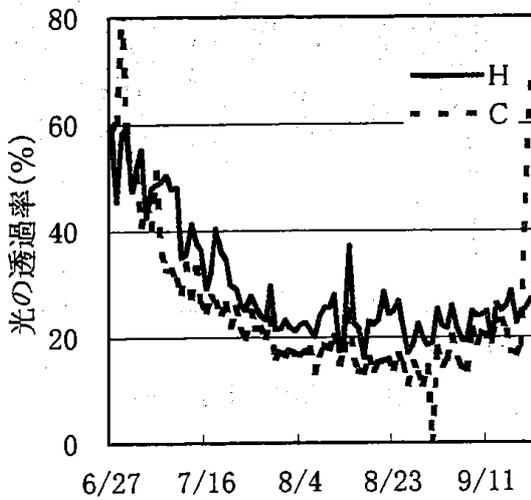
両水田での登熟速度を比較すると, 出穂直後はほぼ同じ速度であったが出穂15日後ぐらいからHの登熟速度がCより大きくなった. その後Cの速度は増加しつづけていたのに対し, Hは出穂30日後ぐらいで安定して一定であった (第3図). さらに, 出穂までに茎葉部に蓄積した光合成産物の穂への再転流の割合を比べると, Cが40.5%であったのに対しHは約34.1%と低めであった (第4図, 第3表).

2. 日射エネルギーの利用

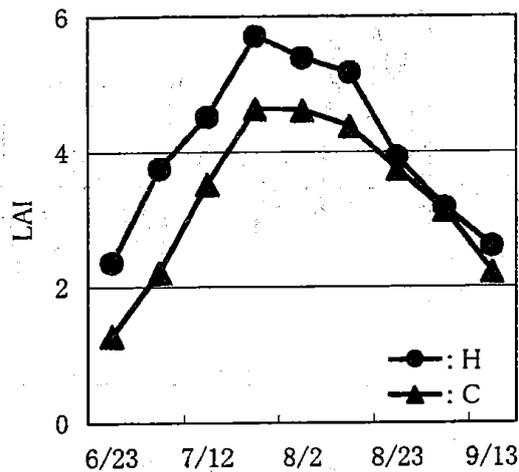
群落上面で測定したPAR [モデルの $S \cdot (1-r)$ に相当] を両水田で比較すると, ほぼ全調査期間を通してHがCよりも少なかった. また, イネによるPARの吸収量 {モデルの $S \cdot (1-r) \cdot \exp[-k \cdot LAI]$ に相当} (以下「APAR」と略す) もCに比べHの方が低かった (第5図). さらに水面までの光の透過率を比べるとHの方が高い値を示していた

(第6図).

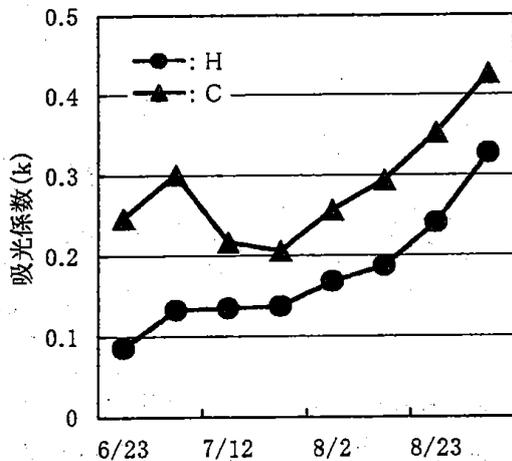
LAIはほぼ全期間を通してHがCよりも大きく、



第6図 光の透過率の推移.



第7図 LAIの推移.



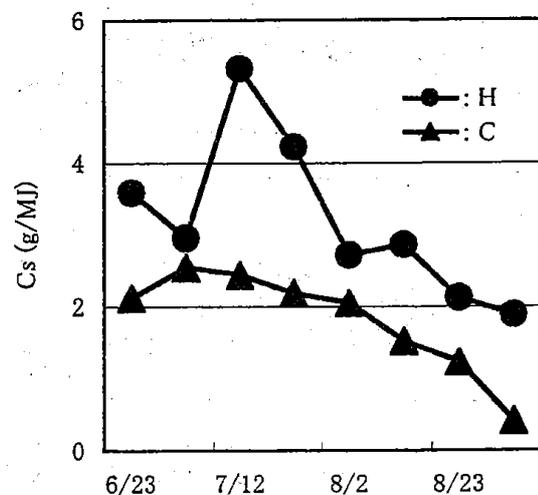
第8図 吸光係数(k)の推移.

両区ともに出穂期頃に最大値を示しており、最大 LAIはHが5.7、Cが4.6であった(第7図). また、受光体勢を示す指標の一つである吸光係数 k はHの方が小さな値を示しており、その範囲は0.1~0.3と低めであった(第8図).

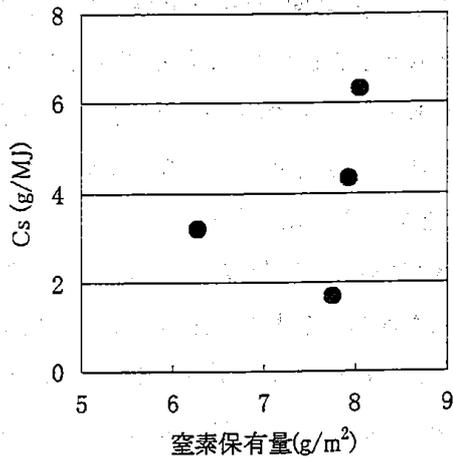
APARに対する乾物増加の割合を示す C_s は全調査期間を通してCよりもHの方が高い値を示しており、特に出穂1ヶ月前の幼穂形成期ではCが2.54 g/MJであったのに対し、Hはその約2倍の5.31 g/MJであった(第9図).

唐木氏が中干しを行っている期間中及び終了後のイネの窒素保有量を測定し、その吸収量を求めた結果、Cで約2.0 g/m²であったのに対し、Hではその1.7倍の3.5 g/m²であった。また、幼穂形成期の窒素保有量と C_s との関係を調べたところ、両者の間には何の相関も見られなかった(第10図). 更に幼穂形成期におけるイネの窒素吸収量と C_s との間にも相関関係はなかった(第11図).

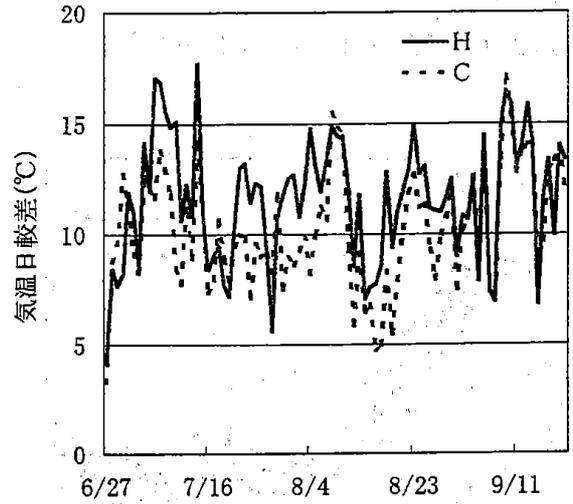
両水田の日平均気温及び水温は共にHの方がCに比べて平均で約1.5℃低めであった(第12図). また、それぞれの気温日較差を比較したところ、CよりもHの方がやや大きいことが分かった(第13図). 風についてはHにしか風速計を設置する



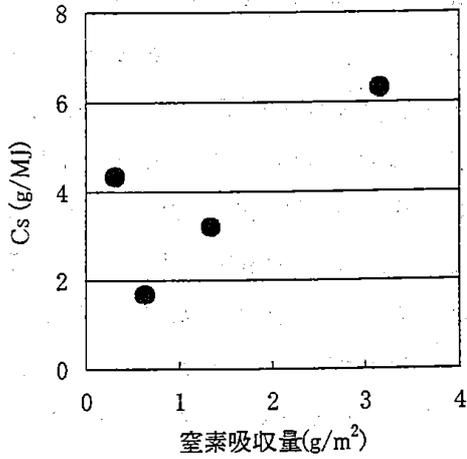
第9図 乾物変換効率(C_s)の推移.



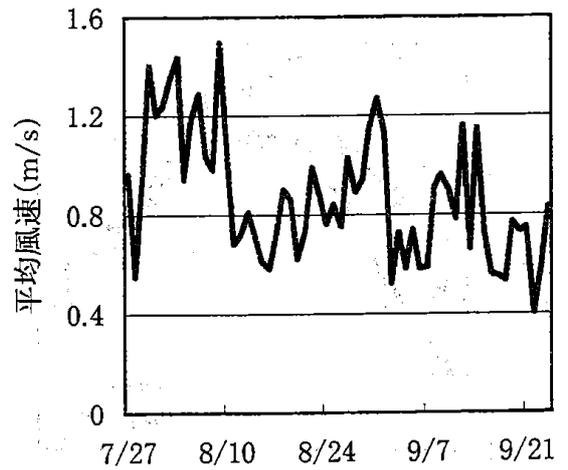
第10図 幼穂形成期の窒素保有量とCsとの関係。



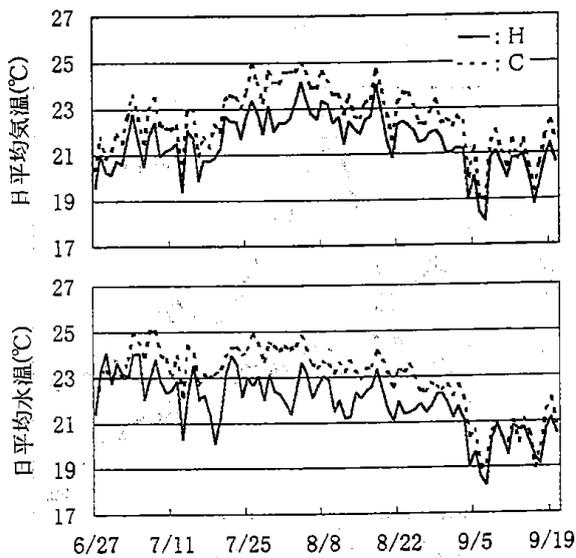
第13図 気温日較差の推移。



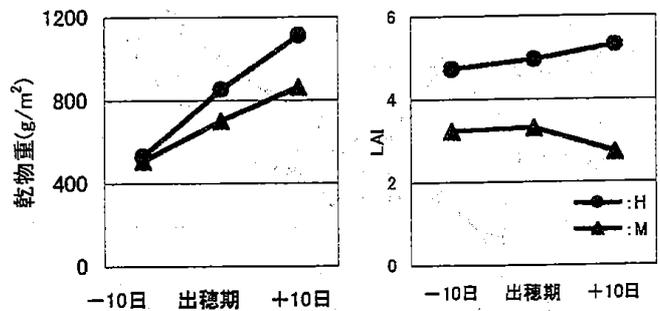
第11図 幼穂形成期の窒素吸収量とCsとの関係。



第14図 平均風速の推移。



第12図 日平均気温・日平均水温の推移。



第15図 両水田におけるもちひかりの生長量の差異。

ことができなかつたためデータを両水田間で比較することはできなかつたが、Hで測定した結果は平均で毎秒0.7~1.0 mであつた(第14図)。

3. 同一品種(もちひかり)を栽培した場合の生育および収量の比較

99年には信大水田でももちひかり(以下「M」と略す)の栽培を行い、特に重要と思われる出穂前後でサンプリングをして唐木氏の水田のもちひかり(H)とLAI及び乾物重の比較した(第15図)。また、収量調査の結果は第2表-bに示してある。乾物重は出穂期にHが1100 g/m²であつたのに対しMでは520 g/m²と、Hの約1/2しかなかつた。出穂期前後のLAIの平均値はHが5.4、Mが3.0であつた。収量はHが850 g/m²、Mが510 g/m²で1.6倍の差があり、またm²あたりの籾数はHが約44000、Mが約30000で、ここにも約1.5倍の差があつた。一方、1穂粒数、玄米千粒重、収穫指数には大きな差は見られなかつた。

考 察

1. 収量および収量構成要素

玄米収量に1.2倍の差が生じた要因を探るために収量構成要素に注目して見てみると、Hでは総籾数が多かつたにもかかわらず登熟歩合が90%台と高かつたことがわかる(第2表)。一般に単位面積当たりの籾数と登熟歩合との間には負の相関関係が存在すると指摘されてきたが(松島1966、津野1976)、今回の調査で籾数が多いにもかかわらず登熟歩合も高く維持できたのは、Hで特に登熟後期に光合成が活発に行われ光合成産物が大量に籾に供給された結果ではないかと考えられた。また、籾数は穎花分化初期に分化した数とその後退化した数との差で決定され(松島1959)、星川(1996)は分化穎花数は分化初期の窒素供給量に

支配され、退化には分化後の日射量が支配的であると指摘している。Hでは6月下旬から約10日間中干しを行うが、その後は窒素成分量にしてCよりもm²当たりで10g多い30gの追肥を行つており(第1表)、分化初期の窒素供給量は充分であつたと考えられる。また、幼穂形成初期の穂体の窒素濃度がCに比べHの方が高かつたことから、Hでは幼穂形成初期の窒素供給量が多く、分化穎花数の十分な確保が行われていたと考えられた。しかし、Hでは全期間を通して相対的に日射量が少ないため分化後の日射量はさほど充分であつたとは思われぬが、後程詳しく述べる日射の乾物への変換効率(Cs)が幼穂形成の時期に特に高かつたことによつて光合成産物が多く生産されたため、分化した穎花の退化が抑制されて穎花数が確保されていたと推察された。

また、中国では平均一穂籾数が100~180粒で多収となっている事例が報告されているが(天野1996)、唐木氏は穂が重すぎると倒伏してしまうという理由から「いかにして小さな穂を出させるかが多収のポイントである」と指摘し、「1穂当たり80粒ぐらいがちょうど良い」と生育目標を語つていた。そこで本調査の結果をみるとH区の1穂粒数は約70粒と唐木氏の目標値よりはやや少なめであつたが、小さな穂となり倒伏もせず良い結果が得られていたと思われた。

2. LAI と k

村田(1961)の試験成績をみると、出穂前2週間の場合はLAIが4あたりで、一方全登熟期のばあいにはLAIが3あたりでCGRが極大値を示している。また津野(1976)は登熟期の最適LAIは7であるとして指摘し、その後ある程度減少して最終的に5に落ち着く形がよいとしている。本調査でのHのLAIは出穂前2週間に4.5、出穂期には約5と津野の指摘した理想値よりはかなり小さな値

を示していた。また、群落構造を示す一つの指標である吸光係数(k)はCの値が0.2~0.4の範囲であったのに対しHでは0.1~0.3と小さく、これは吸光係数が相対照度によるものではなくPARによるものであることなどの調査方法にも関係しているかもしれないが、一般的にイネ型の群落で多いとされている0.3~0.5の範囲をかなり下回っていた(第8図)。水面までの光の透過率を比べた結果、ほぼ全期間を通してCよりもHの方が5%ほど高く、これらのことからHの群落は葉面積が小さくて葉は直立に近く、光が中まで十分に届いており風通しのよい群落であったことがわかる。Hでは平均で毎秒0.7~1.0 mの風が吹いていた。風は空气中に含まれている熱・水分・炭酸ガス・塵埃などを混合しながら運搬するという極めて大きい働きをする(坪井 1986, 矢吹 1997)。この風は日射の強さ及び湿度と同様に光合成に大きな作用をする。本調査では湿度の測定を行わなかったため、これらの関係からHの多収穫の要因を解析することはできなかったが、唐木氏は「水田の湿度は他の水田よりも高めではないか」と語っていた。今後は風や湿度の測定を行い、これらを踏まえてさらに考察を行う必要があるだろう。

3. 乾物生産モデルによる解析

以上のことから、収穫指数はHが53、Cが52とほぼ同じであったのにHで1000 kg/10aを超える玄米収量を得ることができたのは、Hの乾物収量が1600 kg/10aと多かったためであると考えられた。これまでの多収性品種の乾物生産量をみても、例えば、密陽23号は約1600~1800 kg/10a、アケノホシは約1820 kg/10aであり(蔣ら 1988, 窪田ら 1988, 斎藤ら 1990)、本調査の結果もこれらとほぼ等しい値であった。そこで次に、Hでは日射量が少なく不利な条件であったにもかかわらず乾物生産量が高かった要因を $dw/dt=C_s \cdot S \cdot (1-r) \cdot$

$exp[-k \cdot LAI]$ というモデルを用いて解析した。

作物生産にとって日射は最も重要な要素の一つであり、一般には日射量と乾物生産量との間には直線関係があり、一般にPARやAPARが小さいと乾物生産量も減少し(Monteith 1977, Evans 1993)、イネについても生育期間の日平均日射量と収量との間に比例関係があることが報告されている(吉田 1981)。しかしながら、HではPARが平均約7.2 MJ/m²/dayで国際生物学事業計画(JIBP)の報告にある16.1 MJ/m²/dayの半分ほどしかなく、またAPARも小さな値であった(第5図)にもかかわらず乾物生産量が高かったことから、乾物生産量が高かったのはC_sが高かったからではないかと考えられた(第9図)。

星川(1997)によれば、イネのPARに対する吸収日射変換効率の代表的な値は2.8~3.3 g/MJと示されており、また、堀江ら(1985)によれば日本晴の全生育期間を通しての平均C_sは2.75 g/MJであるという。本調査によると、Hでは平均3.2 g/MJ、特に出穂約3週間前の幼穂形成期頃には最高値の5.3 g/MJと著しく高い値を示しており、これが乾物生産量が高かった最大の要因と考えられた。そこで我々は、C_sが高かったのは唐木氏の栽培方法、具体的には唐木氏が行っていた深水や中干しと関係があるのではないかと考えた。これについては後で考察することにする。

また、登熟期間中の1粒重の推移を調査したところ(第3図)、出穂後15日くらいからHの1粒重の増加速度が速くなり、出穂後30日くらいからほぼ一定となったが、これは井上ら(2000)が調査した再転流可能物質の動態とよく一致していた。つまり、登熟速度は茎葉部の再転流可能物質の減少速度と極めて密接な相関関係があることがわかり、その速度の違いが登熟歩合を支配していると考えられた。光合成産物の転流量(P)・再転流量(T)の比較から(第4図・第3表)、Hのイネは登熟

を出穂前の蓄積よりも出穂後の光合成量により大きく依存していたと考えられ、その割合は C が 60 %であったのに対し H では 66 %であった。これらのことから、この事例においては登熟速度は再転流速度に支配され、量的にみれば登熟期の光合成量が収量を支配したものと推察された。

津野 (1970) が指摘するように、水稻の子実生産は品種、栽培条件によって出穂前の蓄積に依存する型と登熟期における光合成に依存する型とに大別される。しかし、多くの水稻品種は光合成に依存していると言われ、登熟期間中の光合成能力を高く維持することの重要性が松島ら (1958) や津野 (1970) によって指摘され、そのための栽培上の対策がとられているのが現状である。そこで、高い乾物生産能力や出穂後も光合成能力を高く維持できていたと考えられる H 水田で唐木氏ほどのような栽培を行っていたのかを後にみてみたいと思う。

4. 同一品種 (もちひかり) を栽培した場合の比較

その前に、C と H の差が栽培方法や場の違いによるものなのかそれとも単に品種の違いなのかを解明するために、特に Cs が高く、乾物生産速度が最も大きな時期である出穂期前後について、C 区と同じ栽培条件で栽培したもちひかり (M) と唐木氏のもちひかり (H) とを比較した。その結果、収量は M と H では約 1.6 倍の差があり、 m^2 当たりの籾数にも同様に 1.5 倍の差が見られたことから、収量の差は主に m^2 当たりの籾数の違いによって引き起こされていたものと考えられた。さらに、乾物重、LAI はいずれも H を M が下回り、同じ品種でも生育に大きな差が現れたことから、C と H の間に見られた違いは主に栽培方法と環境によるものであると考えられた。

5. 唐木氏の栽培管理と多収

そこで、唐木氏の栽培方法と信州大学での栽培方法との違いに着目して、唐木氏の多収に関係のありそうな栽培管理方法について触れてみたい。この事例では 98 年の場合、6 月 25 日から 7 月 5 日にかけて深水灌漑を行っていた。さらにその後の 7 月 5 日から 7 月 15 日までの 10 日間には土壌表面に亀裂の入る位の強い中干しを実施していた。唐木氏の深水管理は水深 10~15 cm とかなり深いものである。それに対して、信州大学の水田では一般的に行われる 5 cm 程度の浅水灌漑であり中干しも土壌表面が乾かない程度の弱いものであった。深水灌漑は近年、水稻の生育を積極的に制御することを目的として行われており (川島ら 1985, 桐山ら 1986, 1987), 最終的に無効化する弱小分げつの出現を積極的に抑制し、有効茎歩合の高い生育型に変えることを目的としている。また、大江ら (1996) は深水処理を行うことで稈の直径が増加し真円率も高まって挫折抵抗性が高まると報告している。唐木氏は「深水灌漑を行う一番の目的は無効分げつの出現を抑えること」と述べており、深水灌漑を行った結果、有効茎歩合が信大水田では 65.7 %であったのに対し、唐木氏の水田では 68.5 %とやや高く維持できたのだと思われた。信大水田では収穫期には倒伏しているイネも見られたが、唐木氏の水田では収穫期になっても倒伏した株は全く見られず、深水灌漑を行った結果稈が強化されたためであろうと推察された。

中干しについては昔から数多くの研究があり、その効果については窒素の供給の遮断 (松島ら 1968), 土の還元化の抑制, 根の活力維持 (星野ら 1970) が指摘されている。唐木氏は、「土壌表面に亀裂ができなければ中干ししたことにならない」と言い、「土壌表面に亀裂ができ、踏んで足跡がつく程度」を目標にして干していた。本調査では根圏環境や活性については調査を行っていないため、根に対する中干しの効果を確認することはで

きなかったが、サンプリングを行う際に稲体を引き抜こうとしたときに、信大水田のイネは比較的簡単に抜けたのに対し、唐木氏の水田のイネは根の張りが強くなかなか引きぬくことができなかったことを考えると、唐木氏のイネの根は生育が活発で、登熟後期でも活力が高かったのではないかと推測された。

太田 (1987) は湿潤ストレスと乾燥ストレスがともにエチレン生成をもたらし、伸長生長を抑えることを指摘している。LAI は約 6 とそれほど大きくないことや抜けないこと、そして倒伏しない強い茎であったことを考えあわせると、唐木氏が従来からの V 字型稲作技術にこうしたダイナミックな水管理技術を組み合わせたことにより、エチレン生成量が高まり、茎の密度が高いにもかかわらず徒長・過繁茂しないイネができたものと推察された。つまり水の駆け引きによる徹底した栄養生長と個体群密度抑制技術に大きな特徴があるとみて良いのではないかとと思われる。

唐木氏は、中干しによる窒素供給の制限とその後の追肥による供給により、より効果的に窒素を効かせてイネ作りを行っているかと推察された。そこで唐木氏が中干しを行っている時期のイネと、その後第 1 回目の追肥を行った後のイネの窒素濃度を測定し、その間の窒素吸収量を求め、同時期の C の窒素吸収量と比較した。その結果、H の吸収量は C の約 1.7 倍であり、深水後の強い中干しの効果で根の活性が高まり、窒素吸収がより活発になったのであろうと推察された。

ここで我々は、窒素吸収量が増せば、単位面積当たりの葉緑素の量が増加し、光合成が活発になって物質生産力が高まり、その結果 Cs も高くなるという関係が成り立つのではないかと考え、特に Cs が高かった幼穂形成期について Cs と稲体の窒素保有量及び窒素吸収量との関係について調べてみた (第 10 図、第 11 図)。図においてプロット

は年次別に示してある。しかし、いずれも有意な相関関係はみられず、本調査では、Cs が高かった要因として窒素は支配的要因ではないものと考えられた。

さらに、H で測定した気温及び水温は平均値が約 21°C と C より 1°C ほど低めであった。津野ら (1987) によれば、温度と根の呼吸速度との間には正の相関関係が存在しており、温度が高くなるにつれて根の呼吸速度も増す。したがってより温度が低かった H では、維持呼吸とみなされる根の呼吸速度が低く抑えられており、その結果、根の維持呼吸による養分消費量が少なくなり、このことも乾物生産の増大に寄与していたと考えられた。また、昼間の光合成量が高いほど夜間の呼吸量も高くなるとの報告もある (堀江 1983)。このことから、昼間の PAR 及び APAR の量が少なく、光合成量も少なかったと思われる H では夜間の呼吸量が低く抑えられており、呼吸による養分消費がここでも抑制されていたと思われる。また、一般に温度の日較差が大きいほど乾物生産は活発になるといわれているが、本調査で気温の日較差を比較したところ (第 11 図)、H の日較差が C に比べてやや大きかったことから、日較差も H の乾物生産を増大させる一つの要因であったと推察された。

今回の調査では、一般に多収穫の要因として働くと考えられている窒素は、Cs を高める要因としてあまり関与しておらず、何か別の要因が大きく関わっていると考えられた。そのうちの一つは深水による無効分けつの抑制と群落構造の改善、それに加えて圃場の風や湿度などの微気象ではないかと推察された。今後はこれらの要因について詳しく調査し、Cs が高いことの解析を更に進めていく必要がある。特に、唐木氏の多収穫には、深水や中干しによる生育抑制に関わる栽培管理方法が日射利用効率、特に群落における物質輸送に大きく関与していたと考えられたため、今後は、この

ような水を用いた個体群密度調節の生理学的機構や乱流による群落の物質輸送についてさらに検討し、普遍的技術にするための研究を展開する必要があると考えられた。

謝 辞

本調査を遂行するにあたり、種々の便宜を図っていただいた唐木 要氏に深く感謝するとともに、化学分析にご協力いただいた長野県畜産試験場の方々に深謝致します。

引用文献

- 天野高久 1996. 中国における超多収稲作をめぐる、農耕の技術と文化. 19:67—91.
- Evans, L. 1993. *Crop Evolution, Adaptation and Yield*. Cambridge Univ. Press, New York. 147.
- 堀江武 1985. イネの生産の気象的評価・予測法に関する研究. (1) 個体群の吸収日射量と乾物生産の関係. 農業気象 40 (4): 331—342.
- 堀江武 1983. 作物の物質生産と気象—モデルと測定法—, 農業及び園芸 58: 853—858, 978—984, 1110—1114, 1243—1248.
- 星川清親 1996. 新編食用作物. 養賢堂, 東京. 91—95.
- 星川清親 1997. 植物生産学概論. 文永堂, 東京. 157—160.
- 星野孝文・松島省三・松崎昭夫 1970. 水稻収量の成立原因とその応用に関する作物学的研究. 第 95 報 窒素吸収制限処理が根の活力に及ぼす影響. 日作紀 39: 337—341.
- 井上直人・谷一道・楊重法・小松有紀 2000. イネの再転流可能物質の動態. 日作紀 69 (別 2): 138—139.
- 川島長治・村上保 1985. 「深水管理」した水稻生育の一例. 日作東北支部報 28: 33—35.
- 桐山隆・中谷治夫 1986. 深水管理とコシヒカリの生育. 北陸作物学会報 21: 45—46.
- 桐山隆・中谷治夫 1987. 深水管理と水稻後期の生育. 北陸作物学会報 22: 1—12.
- 窪田文武・田中典幸・有馬進 1988. 日印交雑稲品種「水原 258 号」の生産生態の解明. 日作紀 57: 287—297.
- 松島省三 1966. 稲作の理論と技術. 養賢堂, 東京. 154—188.
- 松島省三 1989. 理想稲による単収全国 1 位と 2 位の村と市. 農及園 64 (11): 1241—1250.
- 松島省三・和田源七 1958. 水稻収量の成立原因とその応用に関する作物学的研究. 第 48 報. 水稻登熟機構の研究(9). 出穂前貯蔵炭水化物・出穂後蓄積炭水化物及び出穂時窒素含量が水稻の登熟歩合並びに収量に及ぼす影響. 日作紀 27: 201—203
- 松島省三・和田源七・田中孝幸・山浦実 1968. 水稻収量の成立原因とその応用に関する作物学的研究. 第 82 報. 生育各期における無窒素処理が水稻の生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 37: 175—181.
- 松島省三・田中孝幸・助清泰教 1995. JA 上伊那水稻収量調査成績 平成 7 年度. 1—7.
- Monteith, J. 1977. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 281: 277—294.
- Murata, Y. and Togari, Y. 1975. Summary of Data. In MURATA, Y. ed., *JIBP Synthesis Vol. 11. Crop Productivity and Solar Energy Utilization in Climates in Japan*. University of Tokyo Press, Tokyo. 9—19.
- 大江真道・田村晶・三本弘乗 1996. 深水処理が日本型水稻品種の稈の生長と倒伏抵抗性に及ぼす影響. 日作紀 65 (2): 238—244.
- 太田保夫 1987. 植物ホルモンを生かす. 農文協, pp.60-62.
- 斎藤邦行・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 号と日本晴の受光体勢の比較. 日作紀 59: 130—139.
- 斎藤邦行・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 2 報 早生, 中生数品種間の比較. 日作紀 59: 303—311.
- 蔣才忠・平沢正・石原邦 1988. 水稻多収性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—第 1 報 収量及び乾物生産. 日作紀 57: 132—138.
- 坪井八十二 1986. 気象と農業生産. 養賢堂, 東京. 24—25.
- 津野幸人 1976. イナ作多収穫論. 農業技術体系作物編 2, 農山漁村文化協会, 技 61—69.
- 津野幸人 1970. イネの科学. 農文協, 東京. 115—176.
- 津野幸人・山口武視 1987. 水稻光合成の高温低下現象と根の呼吸速度との関係ならびに根の呼吸速度に関与する要因の解析. 日作紀 56 (4): 536—546.
- 矢吹萬寿 1997. 風と光合成—葉面境界層と植物の環境対応—. 農文協, 東京.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. IRRI, Los Baños, Philippines. 84—94.