

## 中山間地における育苗箱全量施肥による水稻の不耕起移植深水栽培

渡邊肇<sup>1)</sup>・日高秀俊<sup>1)</sup>・三枝正彦<sup>1)</sup>・大江真道<sup>2)</sup>・渋谷暁一<sup>1)</sup>

(<sup>1)</sup> 東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター, <sup>2)</sup> 大阪府立大学大学院生命環境科学研究科)

**要旨:** 中山間地における育苗箱全量施肥不耕起移植深水栽培が水稻の生育と収量に及ぼす影響を 1999 年と 2000 年に検討した。品種「ひとめぼれ」を供試し、活着期から有効分げつ決定期まで水深を 10 cm とし、有効分げつ決定期から出穂期までの水深を 20 cm とした深水 I 区、有効分げつ決定期から出穂期までを水深 20 cm とした深水 II 区、慣行の水管理を行う慣行区を設けた。水稻の草丈は両深水区とも、深水管理開始後から慣行区を上回った。最終的な葉数は水管理で有意差はなかった。葉色は両深水区ともに、概ね水管理の影響を受けなかった。茎数は 1999 年では、深水 I 区の最高茎数と穂数が慣行区と深水 II 区に比べて有意に減少したが、深水 II 区の穂数は慣行区と同等であった。2000 年は茎数の推移における水管理の影響はみられなかった。登熟歩合は、両年とも深水管理によって増加した。収量は両年とも水管理で有意差はみられなかった。1999 年は収量と穂数の間に相関関係がみられなかったが、2000 年と両年を込みにした場合には、収量と穂数、総粒数との間に正の有意な相関関係がみられ、収量と一穂粒数には相関関係がみられなかった。これらから、安定収量には穂数の確保が重要と考えられた。さらに、肥効調節型肥料を用いた不耕起移植深水栽培の施肥窒素利用率は、水管理の影響を受けなかった。以上、有効分げつ決定期から入水を開始する育苗箱全量施肥不耕起移植深水栽培は中山間地における水稻の安定生産に貢献でき、環境負荷軽減・省力化の面からも期待されると考えられた。

**キーワード:** 水稻, 全量基肥施用, 中山間地, 肥効調節型肥料, 深水栽培, 不耕起栽培, 分げつ, 冷害。

前報 (渡邊ら 2006) において、水稻の耕起移植栽培では最高分げつ期直前の比較的生育後半から出穂期までの深水管理は、中山間地において穂数を確保しながら、障害型冷害を回避し、安定収量を得る上で有効であると考えられた。一方、中山間地は地形的な制約のために大規模な圃場が造成されにくくコスト削減がしにくい地域である (藤森ら 1996, 門間・安藤 1997)。コスト削減を図る手段として基盤整備を行うことが考えられるが、圃場整備を行ったとしても 20 a 区画程度の中規模な面積が限界である (藤森 1998)。

肥効調節型肥料を用いた育苗箱全量施肥不耕起移植栽培は、耕耘および代かき作業と追肥作業の省略による省力効果、また施肥窒素利用率の向上等による環境負荷軽減効果が認められている (佐藤・渋谷 1991, 金田 1995, 環境保全型農業技術指針検討委員会 1997)。金田 (1995) は、水稻の不耕起移植栽培は、燃料費や肥料費等の減少により、耕起移植栽培の生産コストに比べ、21% の削減効果を見込んでいる。また、坂井ら (1998) は不耕起移植栽培において 10 a 当たりの作業時間が耕耘代かき作業の省略によって 25% 減少するとしている。さらに、水稻の生育は、土壌が耕起栽培に比べて酸化的であるため、根の活性が高く維持され、いわゆる「秋まさり」的な生育を示すとされている (金田 1997, 伊藤 2002)。その一方で、生育初期の土壌窒素の無機化量が少ないことや土壌硬度が高いために、初期生育の確保が難しいとされている (高橋 1993, 安藤ら 1998b)。後者については、穂数の確保が重要である中山間地の稲作においては (佐藤ら 1988)、安定収量を確保する

上でデメリットとなる可能性も考えられる。しかしながら、中山間地において育苗箱全量施肥不耕起移植栽培を導入することによって稲作の省力・低コスト化と環境保全効果の両方が期待されると考えられる。また、中山間地の稲作においては障害型冷害回避のために深水管理が重要となるが、育苗箱全量施肥不耕起移植栽培と深水管理を組み合わせた栽培法である、「育苗箱全量施肥不耕起移植深水栽培」に関する報告例はない。そこで、本研究では、中山間地において水稻の収量安定化、省力・低コスト、環境保全型栽培を行う一方法として、肥効調節型肥料を用いた育苗箱全量施肥不耕起移植深水栽培に着目し、本栽培法が水稻の生育と収量に及ぼす影響について検討した。

### 材料と方法

栽培試験は 1999 年と 2000 年に中山間地に位置する東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター (宮城県鳴子町, 標高 165 m, 東経 140° 15' 10", 北緯 38° 44' 30") の不耕起水田 (2 : 1 ~ 2 : 1 : 1 型中間種鉋物を主体とする非アロフェン質黒ボク土, 1998 年は慣行耕起栽培) で行った。水稻品種「ひとめぼれ」(*Oryza sativa* L.) を用い、1999 年は 5 月 10 日に、2000 年は 5 月 12 日に中苗を一株 3 ~ 5 本、栽植密度 23.8 株 m<sup>-2</sup> (株間 14 cm, 条間 30 cm) で、不耕起専用田植機 (三菱農機社製) を用いて移植した。施肥は 2 種の肥効調節型被覆尿素 (チッソ旭肥料社製, Polyolefin coated urea: POCU) を使用した。すなわち、25°C 水中で 30 日間、肥料成分の溶出がほとんどみられず、その後の 70 日間で 80% が溶出する肥料

(POCUs100)を播種時に5 kgN/10 a育苗箱に施肥した。さらに、初期生育確保のために移植時に25°C水中で肥料成分の80%を溶出するのに30日間を要する肥料(POCU30)を移植直前に3 kgN/10 a育苗箱に上乘せ施肥した。

水稻の水管理は、前報と同様に、深水Ⅰ区、深水Ⅱ区、慣行区の3処理区を設けた。本報では、深水Ⅰ区は雑草防除と障害型冷害回避を考慮し、活着期から有効茎数決定期まで水深を10 cm(笠原・木下1952)とし、有効茎数決定期から出穂期までの水深を20 cm(本庄ら1982)とした。深水Ⅱ区は初期分けつによる茎数の確保、無効分けつの抑制、障害型冷害回避を目的に生育初期には深水管理を行わず、有効茎数決定期から出穂期までを水深20 cmとした。慣行区は中干しを行わず、出穂期まで約5 cmの水深を保つ慣行の水管理を行った。深水Ⅰ区の2回目の処理時期ならびに深水Ⅱ区の処理開始の時期は大江・三本(1998, 2002)の生育制御の深水適期(有効分けつ数決定期頃)を参考にし、例年の同一圃場における茎数の確保が充分に行われたと判断される時期(移植後約50日)とした。なお、茎数の推移には年次、処理によって多少の変動がみられる。出穂期以後の水管理は全区、間断灌漑とし、試験は1区面積120 m<sup>2</sup>(10 m×12 m)で行った。また、灌漑水は貯水池のものを使用し、水田に入水した。

本田管理は入水前に非選択性除草剤である、グリホサートイソプロピルアミン塩を散布し、冬雑草の防除を行った。その他の栽培期間中の雑草防除、病虫害の防除は慣行に従った。

生育調査は、移植後2週間おきに各処理区9株を対象に行い、草丈、葉齢、茎数、葉色を3反復で調査した。なお、葉色は葉緑素計(ミノルタ社製、SPAD502)で測定した。サンプリングは最高分けつ期、出穂期、収穫期に行い、稲体を部位別に分け、70°Cで48時間、通風乾燥後、乾物重を測定した。ケルダール法により、稲体部位別の窒素濃度

を測定した。

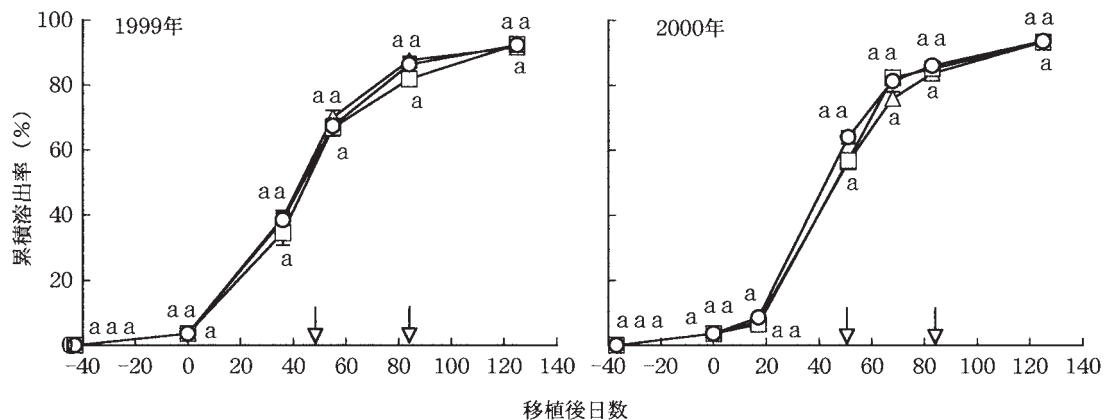
育苗中における肥効調節型肥料からの肥料成分の溶出量を調べるために、寒冷紗で作成したメッシュバッグに肥効調節型肥料POCUs100を3 g封入し、播種時に育苗箱に入れ、移植時に回収した。また、移植後の肥料成分の溶出量を調べるために、本田での施肥位置を考慮してPOCUs100を含むメッシュバッグを深さ3 cmに埋設し、POCU30を含むバッグは表層に設置した。これらのメッシュバッグを適宜回収し、肥料を洗浄後、乳鉢で磨砕し、内容物を蒸留水に溶解して、残存尿素量をPDAB法(Wattら1954)で比色定量した。なお、この溶出試験は3反復で行った。

施肥窒素利用率は、<sup>15</sup>N・POCUs100(3.24 atom%)、<sup>15</sup>N・POCU30(3.22 atom%)を用い、棒試験で1回につき3株ずつ採取し、全窒素はケルダール法で、<sup>15</sup>Nは発光分光分析法(日本分光、N-150型)で定量した。収量は24株を対象に1999年は各区3ヶ所で、2000年は各区4ヶ所で調査した。粒厚1.8 mm以上の粒を対象にして、収量を測定した。収量構成要素(登熟歩合は比重1.06の塩水選で算出)は部分刈りの隣接地の3箇所から3株ずつ採取し、測定に供した。試験圃場の地温は、温度記録計(T & D corporation, TR-71S)で測定した。統計処理は、各水管理について調査箇所を反復とし、分散分析を行った。分散分析後、有意差(P < 0.05)がみられた場合、フィッシャーのLSD法を用いて、各処理区の平均値の多重比較を行った。なお、試験年度の気象概況は前報に記した。

## 結果と考察

### 1. 肥効調節型肥料の溶出パターン

両試験年におけるPOCUs100の窒素溶出パターンを第1図に示した。POCUs100の育苗期間における累積溶出率は、1999年、2000年とも3.6%と僅少であり、育苗された中苗には、濃度障害や徒長などはみられなかった。POCUs100



第1図 深水管理がPOCUs100の累積溶出率に及ぼす影響。

○：慣行区，△：深水Ⅰ区，□：深水Ⅱ区。標準誤差(n=3)はシンボルの範囲内。

同一時期で、同一英文字間には5%水準(LSD法)で有意差がないことを示す。

図中の矢印は、左からそれぞれ、有効分けつ決定期、出穂期を示す。

移植後日数のマイナスは育苗期間中を示す。

からの溶出は、移植後、分けつ期から出穂期まで増加し、その後は、緩やかとなった。さらに、POCUs100の溶出率には兩年とも水管理による有意差は認められなかった。なお、POCU30の累積溶出率も水管理による有意差はみられなかった(データ省略)。以上より、本研究において、肥効調節型肥料の溶出率は水管理の影響を受けず、水稻への窒素供給が可能であると考えられる。また、肥効調節型肥料を用いた不耕起栽培では、稲の生育に合わせて窒素が供給されるため(佐藤ら1994, 金田1994)、稲体の窒素栄養状態の向上が予想される。

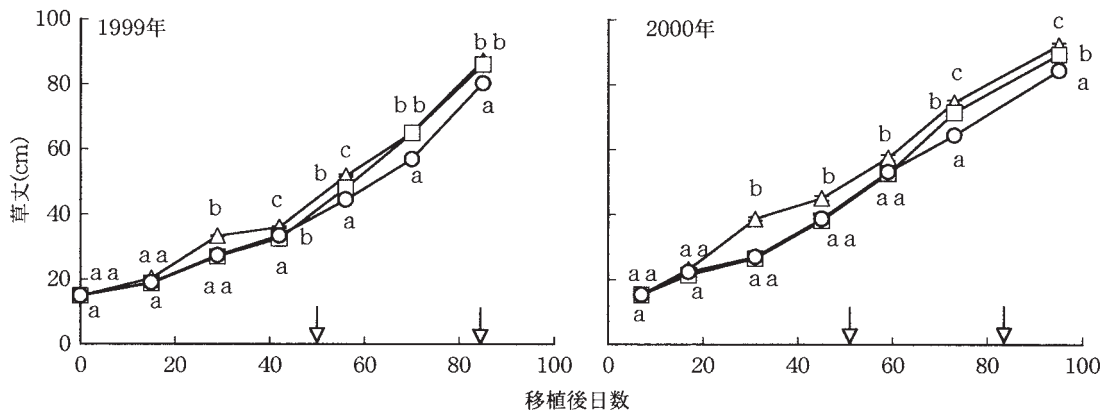
2. 水稻生育

草丈は兩年とも活着期から深水管理を行った深水I区で深水開始直後から増加し、慣行区に比べ高く推移した(第2図)。出穂期では、慣行区に比べ、1999年は7.0cm, 2000年は7.9cm有意に長くなった。また、有効分けつ決定期から深水管理を開始した深水II区では、草丈は兩年とも深水開始直後から慣行区を上回る傾向をみせ、出穂期では慣行区よりも1999年は5.8cm, 2000年は5.0cm有意

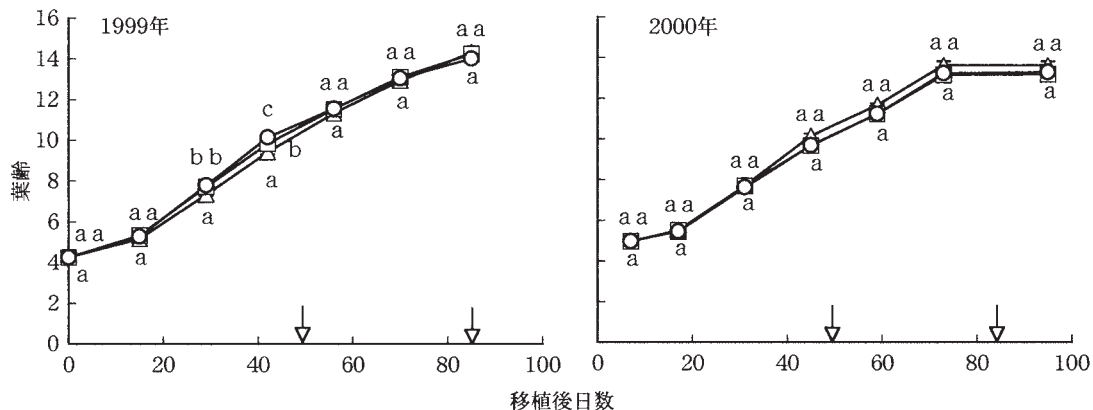
に長くなった。このように、不耕起栽培においても、前報の耕起栽培の場合と同様に、深水管理で草丈の伸長が促進された。

主茎葉齢は1999年では深水I区で、移植29日後と42日後で慣行区に比べ有意に小さかったが、最終的な葉齢には両深水区と慣行区で有意差は認められなかった(第3図)。また、2000年における葉齢の推移には、各処理区で、生育期間を通して有意差はみられなかった。兩年を比較すると、2000年は最終的な葉齢が0.7~0.9小さくなった。これは、前報の結果とほぼ同様であった。なお、前報の耕起栽培では、深水管理により葉齢が進む傾向がみられたが、本研究の不耕起栽培下では、水管理の差異は葉齢の推移に顕著な影響を及ぼさず、これは、耕起法や施肥法の違いが、水稻への栄養状態等を通して、葉齢進展に影響を及ぼしているものと考えられた。

葉緑素計値は1999年では有効分けつ決定期の深水管理によって、両深水区で慣行区に比べて高く推移し、その後は水管理での顕著な差異はみられなかった(第4図)。特に、移植後70日と85日では、両深水区の葉緑素計値は、慣行

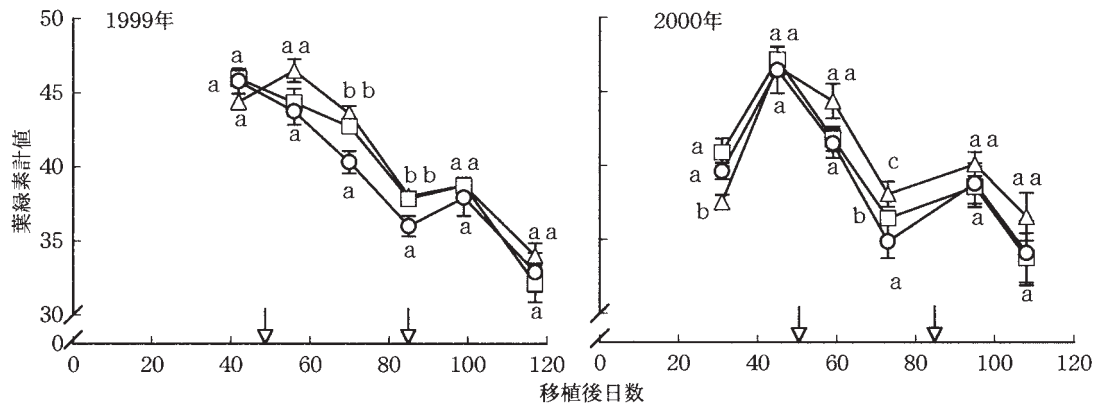


第2図 深水管理が水稻の草丈の推移に及ぼす影響。  
 ○：慣行区，△：深水I区，□：深水II区。標準誤差(n=3)はシボルの範囲内。  
 同一時期で、同一英文字間には5%水準(LSD法)で有意差がないことを示す。  
 図中の矢印は、左からそれぞれ、有効分けつ決定期および出穂期を示す。



第3図 深水管理が水稻の葉齢の推移に及ぼす影響。  
 図の説明は第2図に同じ。





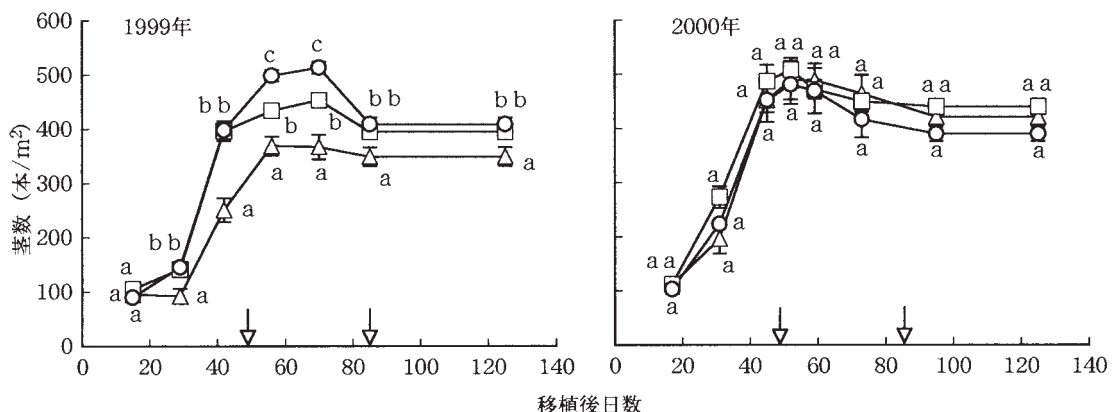
第4図 深水管理が水稻の葉色の推移に及ぼす影響。  
 図の説明は第2図に同じ。図中の縦棒は標準誤差 (n=3) を示す。  
 葉緑素計値はミノルタ葉色計 SPAD-502 の計測値を示す。

区のものに比べ有意に増加した。2000年は移植後31日で、深水Ⅰ区の葉緑素計値が、慣行区と深水Ⅱ区に比べて有意に低かった。2000年では、移植後73日で、両深水の葉緑素計値が、慣行区に比べ有意に高かったが、1999年に比べて、処理間の差は僅少であった。両年とも生育期間を通してみると、ごく一部の時期に深水管理によって葉緑素計値が低くなったものの、概して、深水管理による葉緑素計値の低下はみられなかった。

茎数の推移を第5図に示した。1999年の慣行区の茎数は最高分げつ期で510本/m<sup>2</sup>となり、出穂期では400本/m<sup>2</sup>となった。これに対し深水Ⅰ区では、茎数増加が生育初期から顕著に抑えられ、最高茎数が370本/m<sup>2</sup>となり慣行区の約77%となった。また、深水Ⅰ区の最高分げつ期は慣行区、深水Ⅱ区より約2週間早かった。さらに、成熟期における穂数は350本/m<sup>2</sup>となり、慣行区と深水Ⅱ区に比べ有意に少なかった。これに対して、深水Ⅱ区では最高茎数が450本/m<sup>2</sup>となり、慣行区の約88%となった。また、深水Ⅱ区の茎数は、出穂期では有効茎歩合の高まりにより400本/m<sup>2</sup>となり、成熟期には、深水Ⅰ区の場合と異なり、

慣行区とほぼ同程度の穂数を確保することができた。2000年の慣行区では最高茎数が480本/m<sup>2</sup>と1999年よりも30本/m<sup>2</sup>少なくなり、出穂期では390本/m<sup>2</sup>と1999年に比べて10本/m<sup>2</sup>少なかった。これに対し深水Ⅰ区は最高茎数が490本/m<sup>2</sup>と1999年の茎数を120本/m<sup>2</sup>上回り、慣行区とほぼ同程度であった。また、出穂期においても420本/m<sup>2</sup>と前年よりも70本/m<sup>2</sup>上回り、慣行区との差は僅少であった。これに対して、深水Ⅱ区では最高茎数が510本/m<sup>2</sup>となり、1999年より60本/m<sup>2</sup>増加し、有意ではないものの慣行区よりも増加した。また、出穂期も440本/m<sup>2</sup>と1999年より40本/m<sup>2</sup>増加した。

本試験において、水管理が茎数の推移に及ぼす影響は試験年次によって異なる傾向を示した。1999年は深水Ⅰ区の茎数が、他の2種の水管理に比べ有意に減少し、深水Ⅱ区では最終的な穂数が慣行区と同程度であった。一方、2000年には有意ではないものの、両深水区は慣行区を上回る傾向が得られた。この原因としては、2000年における生育初期の茎数の増加速度が1999年と異なっていたことが挙げられる。1999年は移植後29日目において、茎数は慣行区



第5図 深水管理が水稻の茎数の推移に及ぼす影響。  
 図の説明は第2図に同じ。図中の縦棒は標準誤差 (n=3) を示す。

で146本/m<sup>2</sup>、深水Ⅰ区で92本/m<sup>2</sup>、深水Ⅱ区で142本/m<sup>2</sup>であったが、2000年では移植後32日目において、慣行区で224本/m<sup>2</sup>、深水Ⅰ区で200本/m<sup>2</sup>、深水Ⅱ区で273本/m<sup>2</sup>の茎数が得られ、2000年の方が1999年に比べて、生育初期の茎数の増加が速かった。

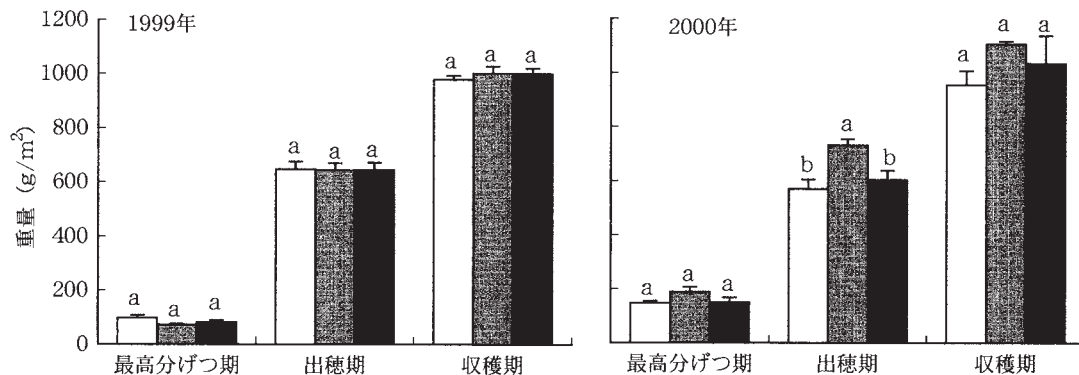
水稻の茎数増加は土壌中のアンモニウム態窒素濃度に強く影響される(安藤ら1988a)。古谷ら(1991)は稲わらを土壌に表面施用した場合、葉色が濃く推移し、深水条件下でも茎数の減少は認められなかったと述べている。このことから深水条件下においても窒素栄養が茎数に影響を与えていることが考えられ、不耕起栽培において肥効調節型肥料等を用いて効率的に窒素供給を行う場合は深水管理によって最終的な茎数が増加する可能性があることが示された。

これまで、深水管理が水稻の生育に及ぼす影響に関しては多数の報告がある(近藤・岡村1932, Hanada and Kagawa 1985, 桐山・中谷1987, 錦ら1988, 梶木・金1991, 古谷ら1991, 大江ら1994, 後藤1996, 後藤ら1999, 菅井ら1999, 大江・三本1999, 2002)。それらによると、深水管理により草丈が長くなり、葉齢の進展が速まる傾向にある。また、深水管理の時期や水深によっては茎数の増加が抑制される場合がある。本研究においても前報の耕起栽培の場合や、既報と同様に草丈の伸長が観察された。しかし、本研究では、深水管理により葉齢の進展が速まる傾向は認められず、また、葉数の増加も耕起栽培(渡

邊ら200)の場合と比較して小さかった。肥効調節型肥料を用いた不耕起栽培では、稲の生育に合わせて窒素が供給される(佐藤ら1994, 金田1994)。この窒素供給パターンのお稲生育への適合度や土壌硬度、酸化還元等のその他の不耕起栽培の特徴が関係しているものと考えられるが、この点に関しては今後の検討課題である。

### 3. 水稻の乾物生産と窒素栄養

1999年の総乾物重には、最高分げつ期、出穂期、収穫期のいずれの時期においても水管理による有意差は認められなかった(第6図)。また、2000年の総乾物重は出穂期において深水Ⅰ区で有意に大きくなったが、収穫期では、各処理間で有意差が認められなかった。さらに、窒素含有率と窒素吸収量についても、両年とも最高分げつ期、出穂期、収穫期のいずれの時期においても、各処理間で有意差は認められなかった(第1表)。POCUs100およびPOCU30の施肥窒素利用率には両年ともいずれの水管理においても有意差はみられず、両深水区とも慣行区と同等の施肥窒素利用率が得られた(第7図)。肥効調節型肥料の溶出は温度に依存し、 $Q_{10}=2$ で肥料成分が溶出するという特性を有している(藤田1995)。さらに、試験圃場の地温はいずれの水管理においても顕著な差異は認められなかった(第8図)。POCUを用いた不耕起栽培では、深水管理によって慣行水管理と施肥窒素利用率の低下をもたらさず、水稻への窒素供給様式はほぼ同様であると考えられる。肥効調節



第6図 深水管理が水稻地上部の乾物重に及ぼす影響。

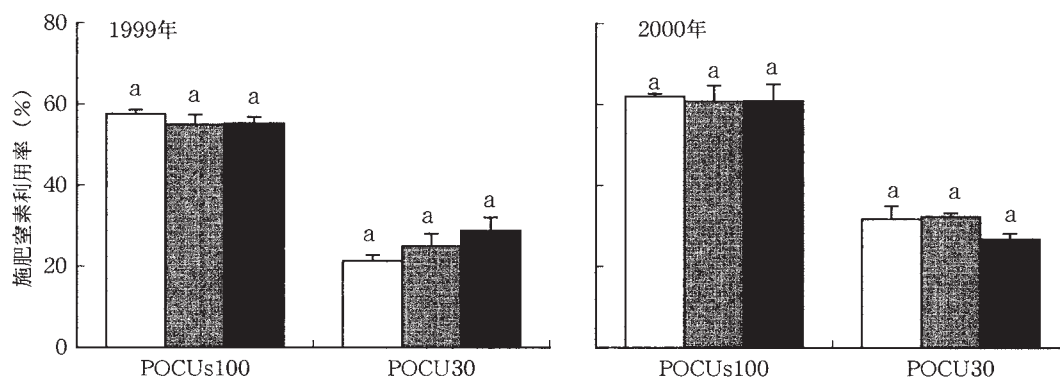
□：慣行区，▨：深水Ⅰ区，■：深水Ⅱ区。図中の縦棒は標準誤差 (n=3)。

同一時期で、同一英文字間には5%水準 (LSD法) で有意差がないことを示す。

第1表 水管理が各生育時期の地上部における窒素含有率と窒素吸収量に及ぼす影響。

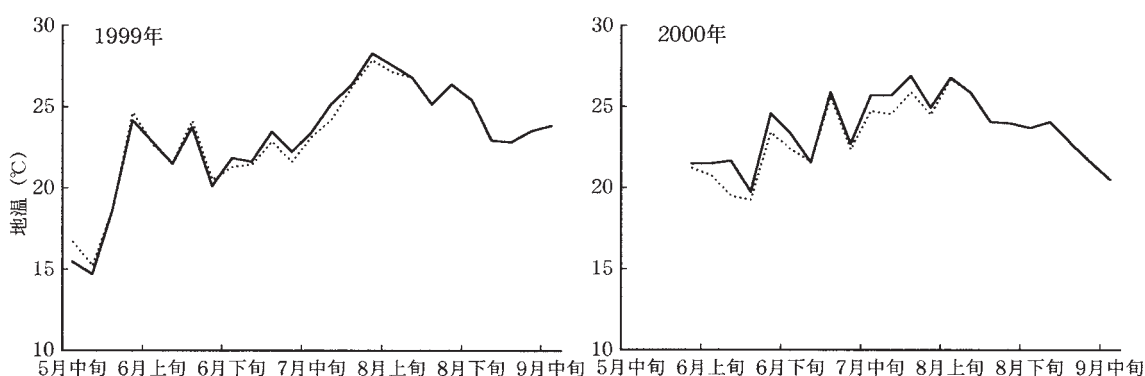
年次	水管理	地上部窒素含有率 (gNkg <sup>-1</sup> )			地上部窒素吸収量 (gNm <sup>-2</sup> )		
		最高分げつ期	出穂期	収穫期	最高分げつ期	出穂期	収穫期
1999	慣行区	34.3 a	11.3 a	9.5 a	3.3 a	7.4 a	9.4 a
	深水Ⅰ区	34.9 a	10.7 a	9.8 a	2.5 a	6.6 a	10.0 a
	深水Ⅱ区	31.7 a	11.5 a	9.4 a	2.6 a	7.5 a	9.5 a
2000	慣行区	26.4 a	9.7 a	9.5 a	3.9 a	7.1 a	9.1 a
	深水Ⅰ区	28.1 a	10.7 a	9.8 a	5.3 a	9.9 b	10.8 a
	深水Ⅱ区	30.4 a	10.5 a	9.0 a	4.6 a	8.1 a	9.3 a

同一年次で、同一英文字間には5%水準(LSD法)で有意差がないことを示す。



第7図 深水管理が施肥窒素利用率に及ぼす影響。

□：慣行区，■：深水I区，■：深水II区。図中の縦棒は標準誤差 (n=3)。同一肥料で、同一英文字間には5%水準 (LSD法) で有意差がないことを示す。



第8図 水管理が旬別平均地温の推移に及ぼす影響。

破線は慣行区，実線は深水区を示す。

第2表 水管理が収量と収量構成要素に及ぼす影響。

年次	水管理	収量 g m <sup>-2</sup>	穂数 本m <sup>-2</sup>	一穂粒数 粒/穂	総粒数 10 <sup>4</sup> 粒 m <sup>-2</sup>	登熟歩合 %	玄米千粒重 g
1999	慣行区	498.3±25.5 a	409.6±12.1 b	62.8±2.7 ab	2.58±0.19 a	82.4±0.6 a	23.4±0.1 a
	深水I区	453.9±27.5 a	349.6±17.1 a	68.3±0.9 b	2.37±0.09 a	88.1±1.8 b	23.5±0.2 a
	深水II区	464.8±12.1 a	395.5±11.0 b	60.1±1.3 a	2.38±0.12 a	90.8±0.4 b	23.2±0.0 a
2000	慣行区	447.2±11.9 a	390.1±13.5 a	61.7±1.1 b	2.40±0.07 a	89.1±1.8 a	23.7±0.1 a
	深水I区	542.3±39.6 a	421.1±25.6 a	59.8±0.5 b	2.50±0.14 a	94.2±0.8 b	24.2±0.1 b
	深水II区	494.1±20.7 a	440.2±14.3 a	52.7±1.3 a	2.32±0.12 a	93.8±0.9 b	23.7±0.1 a

収量は粒厚1.8mm以上の精玄米重で示した。登熟歩合は比重1.06の塩水選で算出した。同一年次で、同一英文字間には5%水準(LSD法)で有意差がないことを示す。数値は平均値±標準誤差。

型肥料を施用する不耕起栽培は速効性肥料を施用する従来の耕起栽培に比べ、施肥窒素の揮散や溶脱による水質汚染や大気汚染の軽減に寄与するとされている(佐藤・渋谷1991, 金田1995, 環境保全型農業技術指針検討委員会1997)。これらのことから、本研究における、育苗箱全量施肥不耕起移植深水栽培では、環境への負荷を最小限にすることが可能であると考えられる。

#### 4. 水稻の収量と収量構成要素

各処理区の収量と収量構成要素を第2表に示した。収量は、両年ともいずれの処理区においても有意差はみられな

かった。穂数は1999年の深水I区で慣行区に比べ、有意に減少したが、2000年では有意差がみられなかった。一穂粒数は1999年では両深水区とも慣行区との間に有意差はみられなかったが、深水I区で深水II区よりも有意に多くなった。また、2000年では深水II区の一穂粒数が、慣行区に比べ有意に減少した。総粒数は両年を通して水管理による有意差はみられなかった。登熟歩合は両年とも両深水区で慣行区よりも有意に増加した。千粒重は1999年では水管理による有意差はみられなかったが、2000年において深水I区で慣行区よりも有意に増加した。

1999年の深水I区においては深水管理による穂数の減

第3表 収量および収量構成要素間の相関係数

	収量	穂数	一穂粒数	総粒数	登熟歩合	玄米千粒重
1999年(n=9)						
収量	1.000	0.485	-0.028	0.477	-0.211	0.415
穂数		1.000	-0.384	0.714*	-0.384	0.118
一穂粒数			1.000	0.371	-0.128	0.480
総粒数				1.000	-0.241	0.495
登熟歩合					1.000	0.034
玄米千粒重						1.000
2000年(n=12)						
収量	1.000	0.744**	-0.132	0.712**	0.229	0.363
穂数		1.000	-0.506	0.671*	-0.018	-0.081
一穂粒数			1.000	0.298	-0.356	0.272
総粒数				1.000	-0.327	0.159
登熟歩合					1.000	0.551
玄米千粒重						1.000
1999年と2000年を込みにした相関係数(n=21)						
収量	1.000	0.679**	-0.193	0.585**	0.176	0.416
穂数		1.000	-0.573**	0.590**	0.188	0.242
一穂粒数			1.000	0.319	-0.494*	-0.119
総粒数				1.000	-0.276	0.170
登熟歩合					1.000	0.578**
玄米千粒重						1.000

\*,\*\*はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを示す。

少を一穂粒数で補償したことによって総粒数に有意差がみられなかったと考えられる。事実、1999年は幼穂形成期が比較的高温かつ多照で経過したために一穂粒数の確保に有利であったと考えられる。2000年では有意ではないものの穂数が深水Ⅱ区で440本/m<sup>2</sup>と慣行区の390本/m<sup>2</sup>よりも13%増加しており、一穂粒数は深水Ⅱ区で52粒/穂と慣行区の62粒/穂に比べ15%有意に減少した。このため、2000年においては深水Ⅱ区の総粒数には他の処理との間で有意差がみられなかったと考えられる。

収量および収量構成要素間での相関関係を第3表に示した。1999年は収量との間にいずれの収量構成要素も有意な相関関係がみられなかった。両年を込みにした相関と、2000年の相関では穂数と総粒数において収量との間に有意な正の相関関係がみられた。また、収量構成要素間では1999年と2000年の両年で穂数と総粒数の間に有意な正の相関関係がみられた。両年を込みにした相関では穂数と総粒数の相関関係以外に、穂数と一穂粒数の間と登熟歩合と一穂粒数の間に負の有意な相関関係が、千粒重と登熟歩合の間に正の有意な相関関係がみられた。

このように不耕起栽培においては、収量と穂数および総粒数の間に有意な相関関係がみられる年度と、みられない年度があった。これは試験年の気象やその他の要因、例えば、不耕起栽培の継続年数等により、収量や収量構成要素に及ぼす深水管理の影響が異なっているものと考えられる。なお、気象要因では、1999年は降水量、気温ともに平年値を上回った。特に幼穂形成期(7月下旬)から登熟期にかけての高温により、収量は全国的に平年を上回った

が、乳白米などの不完全米による被害が多発し、著しい品質低下がみられた。2000年は降水量、気温ともに平年をやや上回った。また、登熟初中期である7月下旬から8月中旬にかけては気温が平年を下回り、1999年にみられた高温による登熟不良も認められず、全国の収量は1999年と同様に平年値を上回った。

登熟歩合は両年とも両深水区で慣行区に比べて有意に高かった。これは、前報と異なる結果であった。登熟歩合の向上に関する一つの要因として、出穂後の光合成量の増加が考えられる。本研究において、不耕起深水栽培では生育後半の葉緑素計値が高い傾向がみられると共に、上位葉の葉面積が広がる観察結果を得ていることから(データ未発表)、同化産物のソースが増すと共に群落の受光態勢が良好になった可能性が考えられる。深水管理によるソースの増加や受光態勢の良化はいくつか報告例がある(錦ら1988, 稲葉1994)。千粒重は、2000年の深水Ⅰ区で慣行区に比べて有意に増加していた。千粒重と登熟歩合との間に有意な正の相関関係がみられた(第3表)。山口ら(1995)は粒あたり葉面積が大きいほど粒重は大きくなる傾向を認めている。これは粒当たりの光合成能力の違いが粒重に影響を与えていることを示唆するものと考えられる。このことから光合成のソースの増加や群落の受光態勢の向上を通して、登熟歩合と千粒重が増加する可能性が高い。さらに、不耕起栽培と深水栽培は共に、秋まさり的な生育相を示すとされている(錦ら1988, 金田1997, 伊藤2002)。秋まさり的な生育をもたらず、両者の栽培方法が組み合わさることにより、登熟歩合や千粒重の増加がもたらされた可



能性も考えられる。これらについては、今後、詳細に検討する必要がある。

穂数は深水Ⅰ区では1999年は慣行区に比べて有意に減少したが、2000年は同等であった。深水Ⅱ区では両年とも慣行区と同程度の穂数を確保した。1999年の深水Ⅰ区においてはPOCUによって効率的に窒素供給が行われるために稲体の窒素栄養状態が良好となり、穂数の減少を1穂粒数の増加によって補償し、慣行区と同程度の総粒数が得られたと考えられる。しかし、中山間地では、冷涼な気候のために、しばしば穂数の減少が、収量の低下につながる場合がある(佐藤ら1988)。つまり、中山間地において安定した収量を得るためには、早期に有効茎を確保し、過剰分けつをおさえて有効茎歩合を高め、穂数を確保することが望ましいと考えられる。

これらのことから、中山間地における不耕起深水栽培において、安定した収量を得るためには穂数を確保する必要があり、茎数増加が抑制される深水Ⅰ区では、安定収量の確保の点で、危険性が高いと考えられる。そのため安定収量の確保のためには、穂数の減少を伴う可能性が極めて低い深水Ⅱ区が、前報と同様、肥効調節型肥料を用いた不耕起栽培においても適していると考えられる。事実、本研究では、不耕起栽培においても有効分けつ決定期から出穂期までを深水管理とする「深水Ⅱ区」は慣行区と同程度の穂数が確保でき、収量も耕起慣行区と同等であった。さらに、肥効調節型肥料を用いた不耕起栽培による施肥窒素利用率は水管理による影響を受けなかった。両年は障害型冷害の被害を受けなかったが、低温年には、深水管理により、冷温の影響に対しても安定した栽培が行えるものと考えられる。以上より、有効分けつ決定期から出穂期までの深水管理と肥効調節型肥料による育苗箱全量施肥不耕起移植栽培を組み合わせた、「育苗箱全量施肥不耕起移植深水栽培」は中山間地における水稲の安定生産に貢献でき、さらに環境負荷軽減、省力・低コスト化の面からも期待される。

謝辞：圃場試験の遂行に当たり、東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター環境調和型作物生産科の諸氏から多大な協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

## 引用文献

- 安藤豊・安達研・南忠・西田直樹 1988a. 水稲生育初期の茎数と土壌アンモニア態窒素の関係. 日作紀 57 : 678-684.
- 安藤豊・小南力・藤井弘志・岡田佳菜子 1998b. 不耕起移植水稲の初期成育と登熟期の特徴について. 土肥誌 69 : 618-625.
- 藤田利雄 1995. ポリオレフィン系樹脂被覆肥料-LPコートとロング. 新農法への挑戦. 庄子貞雄編. 博友社. 東京. 93-104.
- 古屋勝司・椛木信幸・小嶋清 1991. 水稲栽培における生育中期の水管理が生育・収量に及ぼす影響—深水管理を中心にして—. 北陸農業試験場報告 33 : 29-53.
- 藤森新作・福与徳文・深山一弥 1996. 中山間地域市町村の抱える問題点と重点施策の展開方向—中山間市町村の実態と活性化戦略

- (3) 一. 農及園 71 : 883-890.
- 藤森新作 1998. 中山間地域活性化への方策提言—中山間市町村の実態と活性化戦略 (21) 一. 農及園 73 : 253-258.
- 後藤雄佐 1996. 水稲の深水栽培とその貯水機能の活用. 農業技術 51 : 344-348.
- 後藤雄佐・斎藤満保・中村聡・中村貞二・加藤徹 1999. 水田の環境保全機能増大を目的とした水稲の貯水型深水栽培の開発—東北地方で夏が高温の年の水稲の生育と収量性—日作紀 68 : 476-481.
- Hanada, K. and K. Kagawa 1985. Growth of tiller buds of a floating rice variety under deep water with special reference to submergence of the subtending leaf sheaths. Japan. J. Trop. Agr. 29 : 9-16.
- 本庄一雄・平野貢・藤瀬一馬・五十嵐正徳 1982. 水稲の減数分裂期における幼穂の位置とかんがい水深について. 日作東北支部報 25 : 21-24.
- 稲葉光圀 1994. 太茎大穂のイネづくり. 農文教. 東京. 1-241.
- 伊藤豊彰 2002. フィールドから展開される土壤肥科学—新たな視点でデータを採る・見る—6. 耕起から不耕起にすると土壌と作物の何がかわるか? 土肥誌 73 : 193-201.
- 椛木信幸・金忠男 1991. 水稲の高密度散播直播栽培における生育制御. 北陸農業試験場報告 33 : 55-81.
- 金田吉弘 1994. 肥効調節型肥料を用いた育苗箱全量施肥による水稲不耕起移植栽培. 土肥誌 65 : 385-391.
- 金田吉弘 1995. 水稲の育苗箱全量施肥・不耕起移植栽培法. 新農法への挑戦. 庄子貞雄編. 博友社. 東京. 203-220.
- 金田吉弘 1997. 多様な水稲栽培方式における水田土壌肥料研究の現状と方向 3. 不耕起栽培における土壌・施肥管理. 土肥誌 68 : 69-74.
- 笠原安夫・木下収 1952. 水田雑草ひえ防除に関する研究 第1報 湛水の深浅がひえの発芽生育及稲の生育に及ぼす試験. 日作紀 21 : 319-320
- 環境保全型農業技術指針検討委員会 1997. 作物別 環境保全型農業技術. 農林水産省農産園芸局農産課環境保全型農業対策室監修. 家の光協会. 東京. 18-39.
- 近藤萬太郎・岡村保 1932. 水温が浸水稲の生育に及ぼす影響(要旨). 日作紀 4 : 150-157.
- 桐山隆・中谷治夫 1987. 深水管理と水稲後期の生育. 北陸作物学協会報 22 : 11-12.
- 門間敏幸・安藤益夫 1997. 中山間地域活性化のための技術戦略 [6] —技術は中山間地域を救えるか—中山間地域が抱える問題構造の特質と地域特性を生かした活性化戦略の展開方向. 農及園 72 : 648-655.
- 錦斗美夫・長谷川愿・芳賀静雄・神保恵志郎 1988. 水稲生育と深水管理. 農及園 63 : 723-731.
- 大江真道・後藤雄佐・星川清親 1994. 深水処理が水稲分けつの出現に及ぼす影響. 日作紀 63 : 576-581.
- 大江真道・三本弘乗 1998. 深水処理の時期および期間が日本型水稲の生長と倒伏抵抗性に及ぼす影響. 日作紀 67 : 153-158.
- 大江真道・三本弘乗 1999. 深水処理による日本型水稲の乾物生産特性の変化. 日作紀 68 : 482-486.
- 大江真道・三本弘乗 2002. 水稲の生育制御を目的とした深水処理適期の検討. 日作紀 71 : 335-342.
- 坂井直樹・林久喜・大山真由己・今野均・米川和範・遠藤織太郎 1998. 水稲の簡易耕起移植栽培における作業性と収量性. 農作業研究 33 : 139-146.



- 佐藤徳雄・渋谷暁一・三枝正彦・阿部篤朗 1988. 水稻の初期成育促進に対するポット苗移植および側条施肥の効果. 川渡農場報告 4 : 5-8.
- 佐藤徳雄・渋谷暁一 1991. 全量床土施肥による水稻の省力施肥栽培について. 日作東北支部報 34 : 15-16.
- 佐藤徳雄・渋谷暁一・三枝正彦 1994. 苗箱全量施肥水稻の耕起, 不耕起での生育推移. 日作東北支部報 37 : 39-40.
- 菅井恵介・後藤雄佐・斎藤満保・西山岩男 1999. 段階的な水位上昇処理が水稻の茎数増加に及ぼす影響. 日作紀 68 : 390-395.
- 高橋能彦 1993. 水稻不耕起移植栽培におけるペースト側条施肥の肥料利用率と稲体の窒素吸収特性. 土肥誌 64 : 681-684.
- Watt, G.W. and J.D. Chrisp 1954. Spectrophotometric method for determination of urea. *Analytical chemistry* 26 : 452-453.
- 渡邊肇・日高秀俊・三枝正彦・大江真道・渋谷暁一 2006. 中山間地の深水栽培における水稻の生育と収量. 日作紀 75 : 257-263.
- 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呼吸速度と籾当たり葉面積との関係. 日作紀 64 : 251-258.

**Growth and Yield Characteristics of Rice (*Oryza sativa* L.) Grown in Deep-flood Irrigation under No-tillage Cultivation with Single Basal Fertilization to the Nursery Box in Hilly and Mountainous Regions** : Hajime WATANABE<sup>1)</sup>, Hidetoshi HIDAHA<sup>1)</sup>, Masahiko SAIGUSA<sup>1)</sup>, Masamichi OHE<sup>2)</sup> and Kyoichi SHIBUYA<sup>1)</sup> (<sup>1)</sup> *Field Sci. Cent., Grad. School of Agric. Sci., Tohoku Univ., Miyagi 989-6711, Japan;* <sup>2)</sup> *Coll. of Agr., Osaka Prefecture Univ., Osaka 599-8531, Japan*)

**Abstract** : Field trials were conducted to examine the growth and yield characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) cultivated in deep-flood irrigation under no-tillage cultivation with single basal fertilization to the nursery box in hilly and mountainous regions, where low temperatures often cause cool weather damage and where labor-saving and low-cost cultivation is also required. Three water management regimes were designed: DF-I (deep-flood irrigation from early growth stage to heading), DF-II (deep-flood irrigation from productive tiller stage to heading), and CWM (conventional water management). The maximum tiller number and panicle number per m<sup>2</sup> in the DF-I plot were smaller than those in the CWM and DF-II plots in 1999. In contrast, panicle number per m<sup>2</sup> in the DF-II plot was comparable to those in the CWM plot in both years. Panicle number per m<sup>2</sup> positively and significantly correlated with grain yield in 2000. The percentage of grain filling was significantly improved by DF. No significant differences in rice yields were observed among the water management regimes in both years. Nitrogen recovery of the fertilizer by rice was not significantly affected by the water management regime, whereas the no-tillage plot showed higher nitrogen recoveries of the fertilizer than those of the tillage plot. Considering the results, we suggest that DW-II with no-tillage cultivation is effective for both avoiding cool weather damage and for developing low-cost and labor-saving rice culture in hilly and mountainous regions.

**Key words** : Controlled-release fertilizer, Cool weather damage, Deep-flood irrigation, Hilly and mountainous regions, No-tillage cultivation, Rice plant, Single basal application of fertilizer, Tiller.