特集

カバークロップの利用と農作業

水田におけるカバークロップ利用

上野秀人

愛媛大学農学部附属農場

Use of Cover Crops in Lowland Rice Cultivation

Hideto UENO

University Farm, Fac. of Agric., Ehime Univ.

1. はじめに

近代農業技術が発展する以前、水稻栽培における農作業時間の大半は、除草作業に使われており、また酷暑に行われる足場の悪い圃場内での除草作業は、農家にとって大きな負担となっていた。そこで種々の除草剤が開発され、現在、除草作業は薬剤散布のみの短時間・軽労働作業となっているわけである。しかし、水稻栽培を取り巻く現状は大きく変わりつつあり、単に収量確保と労力削減だけでは、稲作が経済的に成り立ちにくくなってきている。このような厳しい状況の中、新しい方向性として水稻の有機栽培を行い、安全性が高い作物生産を行うとともに水田生態系の保全をすることにより、新たな付加価値を見いだそうとする稲作が広まりつつある。

一方、水田におけるカバークロップは、草生マルチ栽培とも呼ばれ、秋冬作で緑肥作物を栽培し、春夏作の水稻栽培時には抑草効果と肥沃度維持を行うことを基本とした水稻栽培法である。本技術は、有機栽培あるいは環境保全型水稻栽培に最も適した技術の一つであり、国内外で本技術の高度化のための研究が進みつつある。

緑肥を利用した水稻栽培については、従来から数多くの研究が行われ、農業現場でも長年行われてきている技術であり、いくつかの書籍も存在する(安

江 1993, 橋爪 1995)。しかし、そのほとんどは春先の開花時に繁茂した緑肥を鋤き込むことにより、緑肥に蓄積された養分を水稻に供給する機能のみを重要視するものであり、他に休閑期の土壤養分流出の減少、省資源、景観保全、生物多様性の維持など、緑肥栽培に付随する機能については共通する知見と言えるが、カバークロップの特徴である抑草効果、不耕起栽培、病害虫の生態学的防除等の特性についての検討例は限られている(嶺田ら 1997, 中野 1999, 堀元ら 2002, Cho et al. 2003)。したがって、カバークロップは水稻栽培における従来の緑肥利用技術を大きく進化させたものと位置づけられ、省力化・省資源ともなる本栽培技術の高度化が求められている。

本論文では、西南暖地水田には限られるが、著者らがマメ科緑肥をカバークロップとして利用したときの水田作における土壤養分動態に関する研究事例を中心に、今後の課題も含めて紹介する。

2. カバークロップ水稻栽培体系の概略

西南暖地水田における緑肥栽培の概要を図1上段に示した。緑肥種子は、水稻収穫前(立毛中)に播種される場合が多い。播種量は、レンゲ、クローバーで2kg/10a、ヘアリーベッチで5kg/10aが標準である。この時期に、播種するのは、もちろん緑肥の播種適期の範囲内であるばかりでなく、冬の生育停滞期までに、ある程度バイオマスを確保することで、緑肥の苗立ち率の向上、抑草効果の増大、窒素固定量の増加を図ることができるからである。緑肥は4月から5月下旬にかけてバイオマスを急激に増大させるとともに、開花を迎える。その後、バイオマスは若干減少するが、6月に入り、入水するこ

平成 16 年 1 月 9 日受付

平成 16 年 8 月 5 日受理

Corresponding author

上野秀人 Hideto UENO

〒 799-2424 愛媛県北条市八反地甲 498

Hoyo, Ehime, 799-2424, Japan

E-mail:uenoh@agr.ehime-u.ac.jp

図1 西南暖地におけるカバークロップ水稻栽培の緑肥・水稻バイオマス量の推移模式図

とで人為的に枯死させることになる。一方、水稻栽培は移植栽培と直播栽培に大きく二つに分かれる。

水稻移植栽培の場合（図1中）、水稻は枯死後の緑肥残渣層の下部の土壤に移植を行う。緑肥バイオマスは急激に土壤微生物によって分解され、緑肥に蓄えられていた窒素、リン酸、その他無機成分を放出し、作物および土壤へ供給することになる。一方、緑肥構成成分のうち、セルロースやリグニンなどの難分解性成分はリター層として水田表面に残存し、マルチング効果により水田雑草の生育を抑制させることになる（堀元ら 2002）。

水稻直播栽培の場合は（図1下）、水稻は5月上旬の緑肥バイオマスが最も旺盛に生育している時期に、水稻種子を立毛中に条播する。歩行型不耕起溝切り播種機播種を用い、深度は2～3cmとなる。水稻種子は発芽・出芽後もしばらくは緑肥の被陰があるため、通常の直播に比べて初期生育が劣ることになるが、入水することで、緑肥が枯死してくると急速に生育し始め、前述の水稻移植栽培と同様な生育様態を示すようになる（嶺田ら 1997、中野 1999）。

3. 西南暖地の低肥沃度水田におけるマメ科カバークロップ水稻栽培の実験例

1) 試験栽培概要

愛媛大学農学部では、1995年に環境創造型農林業

プロジェクトを発足させ、水田ではマメ科緑肥をカバークロップとして用いた水稻栽培の研究を行ってきた。供試水田は、愛媛大学附属農場水田（愛媛県北条市）の灰色低地土（花崗岩母材）であり、作土18cm、土性は壤土、全炭素1.24%、全窒素0.11%、CEC = 6.21cmol kg⁻¹という低肥沃度水田で行った。水稻は、穂重型・晩生品種の松山三井（*Oryza sativa* L. cv. Matsuyamamii）であり、1999年11月中旬にシロクロバー、レンゲ、ヘアリーベッチをそれぞれ40kg, 50kg, 50kg ha⁻¹ずつ播種した。2000年6月13日に湛水を開始し、6月25日に水稻を栽植密度が20株/m²になるように移植した。雑草の発生はわずかであり、除草は行わなかった。

2) カバークロップ由来窒素の動態

図2は、マメ科緑肥であるヘアリーベッチ、レンゲ、シロクロバーをカバークロップとして利用し、水稻のカバークロップ栽培を行ったときの茎数の推移を表している。なお、放任区は、冬季休閑を行った処理区である。放任区では、栽培期間中、茎数の増加はほとんど見られなかった。これは放任区の雑草からの養分供給はわずかであり、また、供試水田が極めて低肥沃度であることを示している。緑肥をカバークロップとした3処理区は、移植12日目から急速に茎数が増加し、レンゲ区では移植後25日目、ベッチ区とクロバー区では33日目に最高分げつ期となり、その後、収穫期まで徐々に減少した。茎

図2 カバークロップ水稻栽培における水稻茎数の推移 (鈴木ら 2001)

図3 カバークロップ水稻栽培における土壌中のアンモニア態窒素濃度の推移 (鈴木ら 2001)

数の減少は、無効茎の枯死によるものであり、ベッチ区とクローバー区の無効分げつ割合は、慣行栽培で見られるものと同等であった。しかし、レング区の茎数は、33日目に急激に減少しており、その後は緩やかに減少していた。またレング区の収穫時期の茎数（有効茎数）は、明らかにベッチ区やクローバー区より劣っていた。また、葉色値についてもレング区は低く推移しており、窒素等の養分不足による生育不良であると考えられた。

このように緑肥の種類によって生育特性が異なる原因を養分供給の面から考察する。本栽培体系では、図1に示したように、入水によりカバークロップが急速に枯死し、また微生物分解されることにより、カバークロップに蓄えられていた窒素を中心とする養分が供給される。また、水田における窒素の最終分解産物は、そのほとんどがアンモニアである。図3は各処理区の土壌のアンモニア態窒素濃度の推移を表しているが、やはり全ての区において、入水直後から急激にアンモニア態窒素濃度が増加し、ピークはレング区が入水後26日目、ベッチ区が32日後、クローバー区が40日目となっていた。特にクローバーのピーク濃度は高かった。その次に高いのはベッチ区であり、レング区は、放任区より若干高い程度であった。また全処理区において、アンモニアのピークが過ぎると急激な減少が見られた。アンモニア態窒素濃度のピークの高さは、即効的な可給態窒素量を示すものと考えられ、高い方から、クローバー区>ベッチ区>レング区≒放任区の順になった。これは、図3における茎数の推移によく対応していると言える。すなわち、比較的アンモニア態窒素濃度が高く推移したクローバー区とベッチ区では茎数

が高く推移しており、アンモニア態窒素濃度の低いレング区では、茎数が一旦増加するが、その後、急激に低下している。これは、茎数を確保するために窒素吸収が最も必要な時期に窒素供給が低下したためと考えられる。放任区ではそれがさらに顕著に現れていると言える。しかし、茎数がある程度確保されたクローバー区とベッチ区においても、アンモニア態窒素濃度の急激な減少は、その後の生育に悪影響をもたらしていると考えられる。このように緑肥の種類によって窒素供給量が大きく異なるため注意が必要であり、なおかつ、緑肥が蓄えた窒素を十分な濃度で供給できる期間は比較的短く、入水後50日目程度と考えられるため、安定した水稻生育を行うためには、追肥が必要と考えられる。特に本研究の供試水田のように、作土が薄く、CECも低い脆弱な土壌は、栽培中後期の窒素供給不足が極端に現れやすいと言える。

次に、カバークロップに蓄積された窒素の水稻収穫時における分配割合を図4に示した。本実験は、カバークロップとしてヘアーリーベッチを使用し、ベッチに含まれる窒素を ^{15}N でラベルして、ポット実験によりその窒素動態を解析したものである。慣行区は化学肥料を用いた通常栽培であり、鋤き込み区はベッチを土壌中に混合して、代かきを行ったものである。また表面施用区は、湛水土壌表面にベッチ残渣を敷設したものであり、カバークロップ栽培とほぼ同様な窒素動態を示すと考えられる。

ベッチの鋤き込み処理により、緑肥由来窒素は慣行区の化学肥料由来窒素と同様な割合で水稻茎葉部（8～10%）および子実部（18～19%）に吸収された。しかし、微生物分解と窒素同化により、土壌有

図4 緑肥の施用位置が緑肥由来窒素の配分に与える影響 (本荘ら 2001)

機態窒素として土壌に残存した割合は、鋤き込み区が慣行区の2倍程度高くなった。これはベッチに含まれる炭素化合物が微生物基質として使用されたためと考えられる。

一方、表面施用の場合、緑肥由来窒素は水稻茎葉部に4%、子実部に6.3%と鋤き込み区の半分以下になった。また土壌有機態窒素として残存した割合も10%と低く、78%が栽培期間中に脱窒していた。このように緑肥の表面施用で低い窒素利用率となった原因として、脱窒速度が高かったことが考えられる。緑肥は比較的溶存酸素濃度の高い表層にあるため、微生物分解速度が速く、また分解・無機化した窒素が容易に脱窒され易い微生物環境であると言える。さらに表面に存在する緑肥窒素が水稻に吸収されるためには、分解産物が下方浸透する必要があり、鋤き込み区のように水稻根に近い部分で緑肥が分解し、窒素供給が行われる場合に比べて不利な条件になると言える。しかし、カバークロップが有する養分の役割は、作物への養分供給のみに限られず、水田土壌表面に生息する水生生物のための栄養源としても重要な意味を持ち、バイオマスを増加させるとともに生物多様性を高めて (Yokota and Kaneko 2002)、病害虫の生態的防除能力の向上にもつながると考えられる。今後、カバークロップが有する生物育養容量や環境保全面での評価が必要である。

3) 有機酸生成による生育阻害

カバークロップは、入水により急激に枯死し、微生物分解が始まる (図1)。それによる養分供給については前述した通りであるが、緑肥には多量の炭素

図5 カバークロップ水稻栽培における水稻移植10日目の田面水中の有機酸濃度 (鈴木ら 2001)

図6 カバークロップ水稻栽培における水稻移植10日目の全有機酸濃度と水稻草丈伸長量との関係 (鈴木ら 2001)

が含まれており、湛水中で嫌氣的に分解するため、同時に有機酸も生成することになる。図5に水稻移植10日目の田面水中の有機酸濃度を示した。3処理区とも290~380ppmの比較的高濃度の有機酸が検出された。ベッチ区とレンゲ区では*i*-酪酸が65~79%を占め、残りは酢酸やその他の有機酸 (プロピオン酸, *n*-酪酸, *n*-吉草酸, *n*-吉草酸) であった。一方、クローバー区の場合、*i*-酪酸は33%と低く、代わりに酢酸の割合が27%と高くなった。おそらく緑肥の成分の違いが、土壌微生物相に変化をもたらし、生成有機酸の割合に影響を与えたものと考えられる。

いずれにしても全ての処理区で高濃度の有機酸生成が行われており、水稻の初期生育に悪影響が生じていた。図6は、水稻移植10日目における田面水中の全有機酸濃度と水稻の草丈伸長量の関係を表したものである。有機酸濃度が高ければ高いほど、水稻の伸長量は低くなっており、0.2%水準で有意に高い

相関が見られた。このような生育阻害は移植2週間程度まで見られ、その後は有機酸濃度の低下とともに生育が回復した。水田土壌における有機酸の生成と水稻生育に与える悪影響については、1960年代に瀧島らが一連の報告しており、本研究で測定された有機酸濃度は、十分水稻生育を阻害するものであった（瀧島ら1960）。

有機酸濃度を低下させるには、緑肥の嫌氣的分解を抑制するために、間断灌水を行い、常時湛水状態にしないようにすることがよいと考えられる。しかし、好氣的分解が進みすぎると緑肥の分解速度が速くなるため、肥効が早く現れてしまい、吸収効率が低くなる可能性もあるため、注意する必要がある。

4) 適品種特性の検索

上述のように、本栽培体系は、極端な養分供給量の変化や有機酸生成など、栽培環境が慣行栽培に比べて不利な面があるため、水稻の品種特性でそれらの点を克服できる可能性について検討を行った。図7は、愛媛県においては早生から晩生に分類される26品種をシロクロバーをカバークロップとした水田に作付けを行い、玄米収量を比較したものである。

早生品種は初期生育が早く、生育期間も短いため、緑肥の養分を効率的に吸収できると予想したが、実際は、全体的に早生品種の収量は低く、晩生になるほど収量が高くなる傾向が見られた。また、品種特性として、草丈が高い品種、窒素吸収量の高い品種が比較的収量が高くなることが明らかとなった。このことから栄養生長段階で蓄積された窒素等の養分量が多いほど、生殖生長段階での子実への転流量が多くなり、収量の増加につながったと考えられた。本研究の供試水田のような低肥沃度水田では、品種の選択は重要な要素になると言える。

4. 本栽培体系の課題とその対策

本栽培体系が、どの水田においても高品質安定生産が行える程の技術の体系化は行われておらず、収量を初めとして課題も多いが（堀元ら2002）、本栽培体系は生態系活用型であるため、土壌、気候、病害虫などの地域環境特性が大きく影響し、それぞれの問題点の軽重は地域により大きく異なる可能性がある。例えば、前述の有機酸の生成による水稻生育の遅延については、比較的多くの水田で見られる現象であると思われるが、緑肥養分の供給期間が栽培初期に集中することに対する影響は、土質により大きな差が生じるものと考えられる。

本栽培体系は基本的に不耕起栽培となるので、粘土含量が高く、透水性が悪い水田においては、緑肥や水稻の根系の枯死によって生じる微小な穴構造を発達させることができるため、減水深が増加し、生育改善につながると考えられる。しかし、砂質の漏水化水田では減水深が大きくなりすぎて、土壌養分が流亡するため、地力が減退することになる。したがってこのような水田では、数年に1度は耕起・代かきを行って減水深を適正化し、養分の溶脱を防止する必要があると考えられる。不耕起移植機は開発が進み、現在、市場に出回りつつあるが、カバークロップ水田においては、その使用範囲に限られるので、専用移植機の開発により省力化と作業精度の向上を図ることが必要がある（長坂ら2002）。

一方、カバークロップ水田に水稻を直播した場合（図1下）、移植に比べて大きな省力化になるが、いくつかの問題点が指摘されている。即ち、1) レングは稲わらから浸出するアレロパシー物質により（中野・平井2000）、レングの生育が抑制され、年々、レング生育量が減少すること（嶺田ら1997）、2) 水稻が発芽・出芽しても、緑肥の被陰の影響が大きい

図7 カバークロップ水稻栽培における各品種の収量（長井ら2001）

ために、初期生育に悪影響が出るとともに水稻の苗立ち本数が確保できないこと（中野・杉本 1999）、3) ヘアリーベッチなど、茎が強固である場合、播種作業が困難を伴う等である。また緑肥の種類について、レンゲとクリムゾンクローバーは収量面からこの栽培法に適しているが、アルサイククローバー、ヘアリーベッチ、アルファルファは、欠株が多く、穂数、一穂粒数が少なく、登熟歩合も低いことから低収量になると報告されている（中野 1999）。

今後の方向性として、栽培管理技術の改善による省力化とともに、栽培環境（土壌、気候、地形、飛来害虫密度）、緑肥栽培（緑肥の種類、播種時期、入水枯死時期）、水稻栽培管理（水稻品種、作付け時期、作付け方法（移植または直播）、水管理法、有機質肥料等の追肥）、高品質安定生産（収量、食味）について知見の蓄積が必要と考えられる。これらの事項は、地域環境特性に左右されることが多く、なおかつ複雑に関係しているため、体系化には十分な検討が必要である。食の安全性、環境保全、省資源・省エネルギー、水田機能の向上などの見地から、今後、環境保全型・持続型水稻栽培の重要性がクローズアップされてくると考えられており、本栽培体系に関する研究の進展が大いに望まれる。

参考文献

- Cho, Y. S., Hidaka, K. and Mineta, T. (2003) : Evaluation of white clover and rye grown in rotation with no-tilled rice. *Field Crop Res.* 83 ; 237-250.
- 長坂善禎・金谷豊・梅田直円・谷協憲・大谷隆二・重田一人・藤井義晴・堀元栄枝・藤本寛 (2002) : 植生マルチ被覆田への水稻機械移植, *農作業研究*37(別1); 79-80.
- 橘爪健 (1995) : 緑肥を使いこなす, 農文協, 東京.
- 本荘陽一・上野秀人・鈴木孝康・松村奈理広・長井伸・奥野祐崇・島田絵未 (2002) : マメ科草生マルチ水田における土壌バイオマスNの動態: 緑肥分解と植物生育が土壌バイオマスにおよぼす影響, *日本土壌肥科学会講演要旨集*48; 22.
- 堀元栄枝・荒木肇・伊藤一幸・藤井義晴 (2002) : ヘアリーベッチ (*Vicia villosa* Roth) を利用した水田における雑草抑制と水稻収量への影響, *雑草研究*47(3); 168-174.
- 嶺田拓也・日鷹一雅・榎本敬・沖陽子 (1997) : レンゲ草生マルチを活用した不耕起直播水稻における雑草の発生消長, *雑草研究*42; 88-96.
- 長井伸・上野秀人・楠谷彰人・鈴木孝康・本荘陽一・松村奈理広・奥野祐崇・島田絵未・三澤優・宮地雅仁 (2001) : マメ科草生マルチ不耕起水田における水稻26品種の生育および収量特性, *日本作物学会四国支部会報*38; 44-45.
- 中野尚夫 (1999) : 緑肥作物立毛中に不耕起播種した水稻の生育と収量, *日作紀*68; 470-475.
- 中野尚夫・杉本真一 (1999) : 緑肥立毛中に不耕起播種した水稻の苗立ち, *日作紀*68; 357-363.
- 中野尚夫・平井幸 (2000) : 稲わら水抽出液がレンゲ生育におよぼす影響, *日作紀*69; 470-475.
- 鈴木孝康・上野秀人・本荘陽一・松村奈理広・吉野久恵・嶺田拓也・日鷹一雅 (2001) : マメ科草生マルチを活用したLISA型不耕起水田土壌における養分動態の解析: 栽培初期における緑肥窒素の無機化と有機酸の生成, *日本土壌肥科学会講演要旨集*47; 147.
- 瀧島康夫・塩島光州・有田裕 (1960) : 水田土壌中の有機酸代謝と水稻生育阻害性に関する研究 (第2報) 有機酸の根生長並に養分吸収阻害, *日土肥誌*31(10); 441-446.
- 安江多輔ら (1993) : レンゲ全書: 来歴・性状・栽培・利用・文化, 農文協, 東京.
- Yokota, H. and Kaneko, N. (2002) : Naidid worms (*Ohigochaeta*, *Naididae*) in paddy soils as affected by the application of legume mulch and/or tillage practice, *Biol Fertil Soils* 35; 122-127.