

学位論文全文に代わる要約 Extended Summary in Lieu of Dissertation

氏名： 大森 誉紀
Name

学位論文題目： 愛媛県の環境保全型農業推進のための多面的土壌管理技術の開発
Title of Dissertation

学位論文要約：
Dissertation Summary

第1章 緒言

愛媛県では、農業の持つ自然循環機能を活かし、生産性との調和などに留意しつつ、資源の循環利用により、土づくりの強化や化学肥料・農薬の削減技術の開発・普及、地域資源を活用したリサイクルの促進、消費者と連携した有機農業や減農薬・減化学肥料栽培の拡大、環境基準に基づく水質改善等地域課題の改善等を推進し、環境と調和した持続的な農業（環境保全型農業）の普及・浸透を行うことが課題となっており、基礎から応用までの技術開発研究が行われている。

環境保全型農業では、土づくりの推進により土壌の性質に由来する農地の生産力の維持増進を図ることが重要とされる。愛媛県の水田土壌は、その土壌肥沃度が極めて低いため、施肥量が多い傾向にあり、合理的な施肥法が求められている。また、過去にカドミウムを含有する玄米が産出されたことがあり、今後も県内の重金属汚染モニタリングは継続する必要がある。一方、愛媛県の畑土壌では野菜や果樹が栽培され、これらにおける農薬の使用量は、稲麦に比べ一般に多い。他県では過去に使用された農薬が土壌に残留し、問題となった事例も見受けられることから、これら難分解性有機化合物の微生物利用による早期除去にかかる基礎的知見も必要である。

これらのことから、本研究では、愛媛県の環境保全型農業にかかる喫緊の対策が必要とされる多方面にわたる土壌管理上の課題に対して、解決技術を提案しこれを評価した。すなわち、1)愛媛県内の低濃度カドミウム土壌地帯においてカドミウム基準超過米が発生しやすい各種土壌条件の解明とリスク評価シミュレーションによる適切な対策選定法の提案、2)愛媛県内の代表的な土壌に農薬モデル物質としてクロロ安息香酸を添加した人工汚染土壌に分解細菌を接種したときの生残性や分解効果解析による有機化合物汚染土壌の微生物による修復技術の開発、3)愛媛県内の地下水硝酸性汚染地域における緩効性被覆肥料を利用した環境保全型サトイモ施肥技術の開発、4)緩効性被覆肥料とマルチ栽培の組み合わせが、サトイモの生育、収量窒素吸収量の増加させることによる硝酸態窒素の溶脱抑制技術の開発、5)布マルチ水稻直播有機栽培について、愛媛県内に広く分布する低窒素肥沃度土壌に適した窒素施用法の高度化技術開発を行った。

第2章 低濃度カドミウム土壌における玄米カドミウム濃度の推定とリスク評価シミュレーションに基づく対策の検討

愛媛県には、農用地土壌汚染防止法に基づく指定地域は無く、また水田作土の土壌中カドミウム (0.1 mol L^{-1} 塩酸浸出) 濃度の平均は、高い地域でも、全国の非汚染地域と同程度である。しかし、過去にカドミウム濃度が 0.4 mg kg^{-1} を超える米を極まれに産出したことから、地域全体で玄米カドミウム濃度を確実に 0.4 mg kg^{-1} 以下とするためには、カドミウム吸収抑制対策を重点的に取り組む必要のある地域の確定や圃場をさらに絞り込むための手法開発が必要である。

そこで、カドミウム濃度が低い土壌で水稻を栽培し、出穂1週間後から畑状態で管理した時の玄米カドミウム濃度を土壌のカドミウムリスクと設定し、土壌pHと土壌カドミウム濃度から玄米カドミウム濃度を推定する式を導き、カドミウムリスクのシミュレーションを行った。

その結果、(1)出穂3週間後まで湛水すると、玄米カドミウム濃度は 0.2 mg kg^{-1} 以下に抑制でき、落水が早いと高まることから、土壌のカドミウムリスク評価は早期落水条件が良い。(2)早期落水時の玄米カドミウム濃度は、土壌pHと 0.1 mol L^{-1} 塩酸浸出カドミウム濃度から推定可能であり、 $Z = 0.449 X - 0.336 Y + 2.067$ (Z: 玄米カドミウム濃度の推定値, X: 土壌カドミウム濃度, Y: 土壌pH) が得

(様式5) (Style5)

られた。本法は、県内の農業指導機関で分析可能で、カドミウムリスクの簡易評価手法の一つとして有効であることが明らかとなった。また、(3)玄米カドミウム濃度推定値が 0.4 mg kg^{-1} 以下とするには、地域全体で土壌pHを5.5とし、玄米カドミウムが 0.4 mg kg^{-1} を超えると推定される1%の地点について(図1)のみ土壌pHを6とするか土壌カドミウム濃度を 0.5 mg kg^{-1} 以下とするのが効率的であると考察した(表1)。

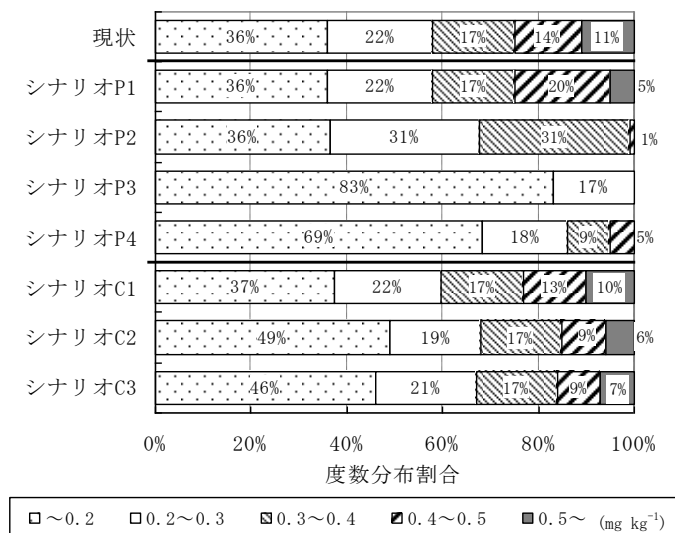


図1 土壌pHおよび土壌カドミウム濃度を变化させた各シナリオにおける玄米カドミウム推定値の分布割合

- 注1) シナリオP1 土壌pHの改良目標値を5.0とした場合
シナリオP2 土壌pHの改良目標値を5.5とした場合
シナリオP3 土壌pHの改良目標値を6.0とした場合
シナリオP4 土壌pHを全地点で現在より0.5上げた場合
シナリオC1 土壌カドミウム濃度の改良目標値を 0.3 mg kg^{-1} とした場合
シナリオC2 土壌カドミウム濃度の改良目標値を 0.1 mg kg^{-1} とした場合
シナリオC3 土壌カドミウム濃度を全地点で現在の半分とした場合
- 注2) 階級は、超える～以下を示す。

表1 早期落水条件で推定式から予測される玄米カドミウム濃度 (mg kg^{-1})

		土壌pH				
		4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
土壌カドミウム濃度 (mg kg^{-1})	0.1	0.6	0.4	0.3	0.1	0.0
	0.2	0.6	0.5	0.3	0.1	0.0
	0.3	0.7	0.5	0.4	0.2	0.0
	0.4	0.7	0.6	0.4	0.2	0.1
	0.5	0.8	0.6	0.4	0.3	0.1
	0.6	0.8	0.7	0.5	0.3	0.2

- 注) 土壌カドミウムは、 0.1 mol L^{-1} 塩酸浸出カドミウム
推定式は $Z = 0.449 X - 0.336 Y + 2.067$
(Z: 玄米カドミウム濃度推定値, X: 土壌カドミウム濃度, Y: 土壌pH)
網掛け部分は、玄米カドミウム濃度が 0.4 mg kg^{-1} 以上の部分

第3章 土壌へのクロロ安息香酸分解細菌の接種効果とその定着性

他県の土壌では過去に使用された農薬が残留し、問題となった事例があり、愛媛県の土壌においてもこれら難分解性有機化合物の早期除去にかかる知見の集積が必要であり、その対策の一つとして、微生物の分解能を利用した環境修復技術の確立が期待されている。

そこで、農薬等様々な用途で広く用いられる芳香族塩素化合物のうち、その微生物分解がよく研究されている3-クロロ安息香酸をモデル物質として用い、愛媛県内の代表的な2種類の土壌で、3-クロロ安息香酸分解細菌*Pseudomonas putida* KC8株の接種によるバイオオーギュメンテーションの効果、およびその分解菌(KC8株)の定着性について調査を行なった。

その結果、(1)野菜畑および樹園地土壌に、 500 mg kg^{-1} の3-クロロ安息香酸(3-CB)を添加し、KC8株を接種して 28°C で培養したところ、野菜畑土壌中ではKC8株は良好な生残性を示し、3-CBの分解速度が約2倍に促進されたが(図2左)、樹園地土壌ではKC8株は速やかに減少し、3-CBの分解は認められなかった(図2右)。これは、(2)樹園地土壌におけるKC8株の減少は、3-CBを添加しない場合には観察されず、土壌と3-CBの相互作用によってKC8株の定着が阻害されたためと推察された。

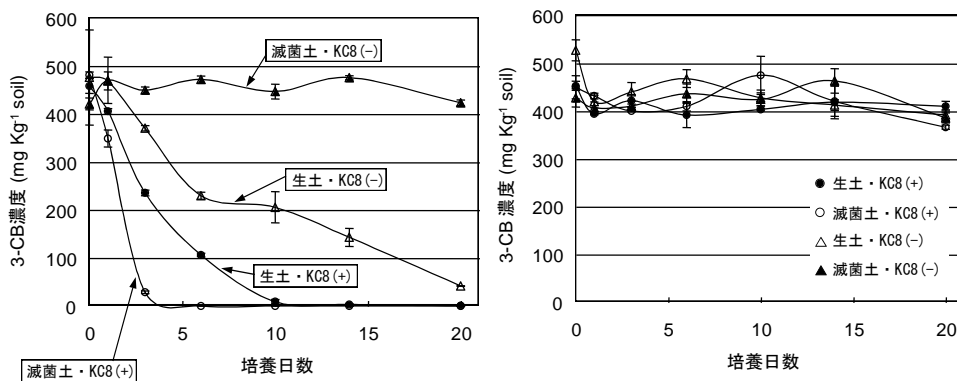


図2 野菜畑(左)と樹園地(右)土壌中の3-CB濃度変化
エラーバーは3反復の標準偏差を表示

第4章 サトイモの生育に適した肥効調節型肥料の開発と硝酸態窒素溶脱抑制効果

愛媛県の地下水概況調査において愛媛県東予東部から環境基準を超える硝酸態窒素が検出され、恒常的に基準超過が発生している可能性があり、汚染源として地域の基幹作物であるサトイモへの施肥窒素が関わっていることが明らかにされている。

サトイモは連作すると生育不良となり収量低下を招く。当地域でも、近年、収量が低下する傾向となり、圃場の透排水性改善や堆肥、追肥の増施などの対策を講じる生産者が増えてきた。そこで、サトイモの生育、収量を維持しつつ減肥が可能となることを目的として、サトイモの窒素吸収パターンと合致するように被覆肥料を配合して肥料を試作、施用し、圃場条件下での窒素の溶出特性や溶脱量を調査した。

その結果、この肥料を全量基肥施肥することで慣行施肥より減肥が可能であること、被覆肥料が初期の窒素溶出を抑えたとともにサトイモの生育が旺盛な時期に肥料から窒素が溶出するため、6～8月の降水やかん水量の多い時期の窒素溶脱量が慣行施肥より少ないことから、施肥窒素の溶脱抑制に有効であることを明らかにした(図3)。

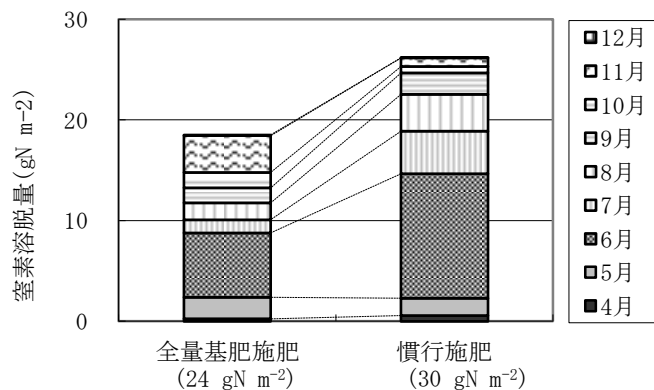


図3 全量基肥施肥と慣行施肥の窒素溶脱量の比較

第5章 温暖地サトイモ栽培において緩効性被覆肥料の利用とマルチシート素材の違いが各器官の生育と収量に与える影響

愛媛県の東予東部は、県内サトイモの主産地で、愛媛県で生産されるサトイモの58%を占める。この地域の慣行の栽培法では、萌芽までは黒マルチで畝を被覆し、萌芽期以降は無マルチとしている。サトイモ栽培期間を通じて畝を黒マルチで被覆するマルチ栽培では、マルチシートの植穴が小さいと子イモや孫イモの葉身が伸長せず、収量が低下することがあり、課題が残っていた。そこで、この対策として黒マルチより裂開し易い生分解マルチの利用を試みた。

さらにサトイモ収量の増加はサトイモによる窒素吸収量の増加と同義であることから、窒素施肥量が同じ場合にサトイモによる窒素吸収量を高めると、硝酸態窒素の地下への浸透量は少なくなる。すなわち、収量を高めることは硝酸態窒素の溶脱抑制に有効であると考えられる。そこで本試験では、緩効性被覆肥料と生分解性マルチ栽培との組み合わせ技術の環境影響評価とともに、サトイモの生育を慣行栽培と比較し、サトイモ各器官の生長の特徴や、地上部生育と収量性との関係を明らかにし、収量向上対策について検討した。

その結果、(1)サトイモは、生育初期に親イモと子イモの数が決定し、これらが肥大しつつ地上部が充実し、遅れて孫イモが肥大した。(2)生分解マルチ区では、マルチ穴周囲のシートが裂開することにより子イモや孫イモ葉身の伸張が促進され、葉数も増加した。緩効性被覆肥料を用いるとLAIが速やかに拡大し、光合成産物を葉柄に一時的に貯蔵し全乾物重を高めた。その後、光合成産物を孫イモへ速やかに再転流させ、生育期間を通じてCGRを高く維持し増収した(図4)。(3)慣行の黒マルチ区ではマルチ穴が小さいと子イモ葉柄が伸張せず、子イモと親イモ葉身の間で光合成産物の競合が生じるため、親イモ葉身のNARの低下とLAIの早期低下により、子イモの平均イモ重が低く低収となることが明らかになった。また、(4)サトイモの収量向上には、緩効性肥料等を用いて生育初期の土壤中無機態窒素濃度を低く抑え、生分解マルチを用いてLAIの展開を早めかつ長く維持し、高いCGRを持続させることが有効であると考えられた。

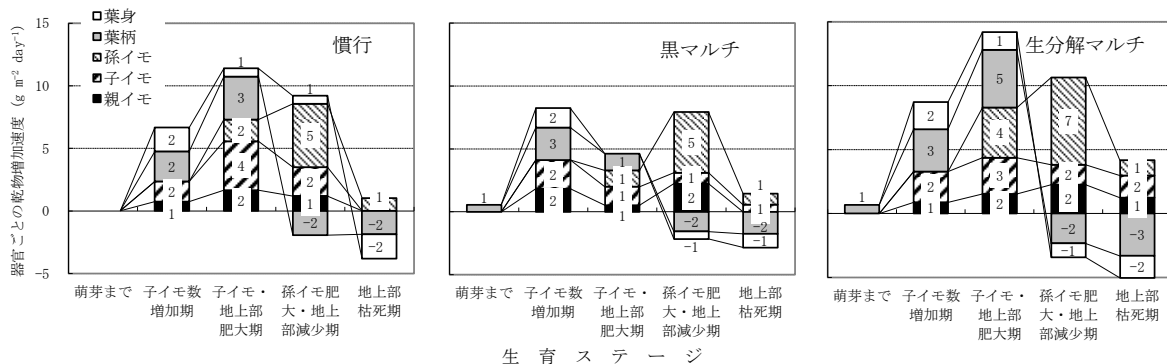


図4 サトイモの器官別の乾物増加速度 (CGR) の推移

第6章 温暖地の低肥沃度水田における布マルチ水稲直播有機栽培に好適な窒素施用法

布マルチ水稲直播栽培(以下、布マルチ栽培とする)は、除草剤が不要で、不整形な棚田にも適用できることから、省力的な水稲有機栽培法として普及している。しかし、布マルチ栽培における既存の施肥法では、入水に伴う溶脱や脱窒により肥効が低下すると推察され、愛媛県内で多く見られる窒素肥沃度が低い水田では、茎数や一穂粒数が不足し低収となることが危惧される。これらの水田では、窒素利用率の高い施肥体系が求められる。

そこで、布マルチ栽培の慣行施肥法(以下、代かき前施肥法)の改善策として、代かき均平後に土壌を乾燥させ土壌表面を固め、敷設直前に施肥する方法(以下、敷設前施肥法)を考案し、その効果を検証した。また、低窒素肥沃度水田の増収対策として、敷設前施肥法において分施(基肥、中間追肥、穂肥)を組み合わせ、愛媛県で栽培される主要な品種であるヒノヒカリを用いて水稲の生育や収量、ならびに土壌の無機態窒素濃度を比較し、窒素肥沃度の低い水田に対して好適な窒素施用法を検討した。

その結果、(1)慣行の代かき前施肥では布マルチ敷設以降、無施肥区と同様に推移したが、敷設前施肥では落水・着土後から無機態窒素が増加し、敷設前施肥の初期分けつは、代かき前施肥に比べ旺盛で、水稲の生育が優れ多収であった。(2)敷設前施肥における基肥窒素利用率は35%、穂肥窒素利用率は58%で、中間追肥窒素利用率は見かけ上0%であった(表2)。基肥窒素は初期の土壌中無機態窒素

濃度を高め、わら重を増加させ、耐倒伏性を向上させた。中間追肥窒素は布マルチに付着した微生物の増殖に利用され、水稻には利用されなかったと考えられる(図5)。穂肥窒素は単位面積当たり粒数と千粒重を増加させ、粒重や精玄米重を増加させた。布マルチ水稻直播有機栽培では中間追肥を施用せず、基肥と穂肥の施用で良いことを明らかにした。また、(3)穂肥施用量が多いと玄米タンパク含有率も高めるので、愛媛県の主要品種のヒノヒカリを用いた布マルチ水稻直播有機栽培では、油粕を敷設前に施肥し、窒素施用量合計を 8g m^{-2} 、穂肥窒素を 4g m^{-2} 以下とする施肥体系が良いと推察された。

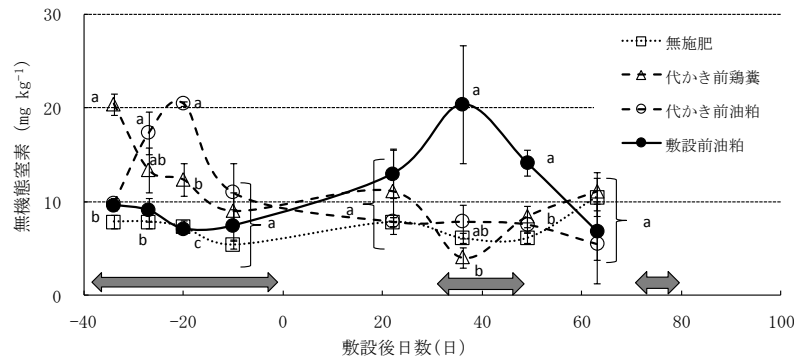


図5 代かき前施肥と敷設前施肥における土壌中無機態窒素の推移
 ⇄は落水期間を示す。エラーバーは標準誤差 (n=3) を示し、
 同一調査日の異なる英小文字間には Tukey の多重検定による 5%
 水準の有意差があることを示す。

表2 布マルチ水稻直播有機栽培における基肥、中間追肥および穂肥
 それぞれの施肥窒素利用率 (%)

区名	合計	基肥	中間追肥	穂肥
N0+4+0	29	35	0	58
N2+6+0	9			
N2+4+2	40			
N4+0+4	49			

区名は「基肥N+中間追肥N+穂肥N (いずれも単位面積あたり窒素施用量(g m^{-2}))」を示す。施肥窒素利用率は差し引き法で求めた。

基肥、中間追肥および穂肥と分施した各施肥窒素の利用率を求めるため、各窒素利用率 (%) を a, b, c とした時に次式が成り立つと仮定し、両辺の差の絶対値の合計が最も小さくなるよう Microsoft Excel のソルバー機能を用い最適解を求める方法で計算し求めた。

$$aX+bY+cZ=Nabs-N0$$

ここで、X, Y, Z は基肥、中間追肥、穂肥の各窒素施用量 (g m^{-2})、Nabs は各区の収穫時の窒素吸収量 (g m^{-2})、N0 は N0+0+0 区の収穫時の窒素吸収量 (g m^{-2})。

第7章 総合考察

愛媛県の耕地の種類別面積は、1965年では水田42,600ha、樹園地27,300ha、普通畑19,200haであったが、その後、年々減少し、現在は1965年の61%にまで減少している。近年は耕作放棄地が著しく増加しており、優良農地を確保し、将来にわたって農業生産が持続的に可能となるよう、農地の生産力の維持、増進を図ることは、愛媛農業にとって極めて重要な課題である。そこで、愛媛県の環境保全型農業を推進し、優良農地の維持・確保を推進する視点から、複雑多岐に渡り、かつ喫緊の土壌管理上の課題(重金属土壌汚染対策、農薬等有機化合物汚染対策、地下水の硝酸態窒素汚染対策、有機農業、家畜ふん堆肥等資源の有効利用等)について総合的に考察し、まとめとした。