

77年間継続した四要素無施用区と堆肥施用区にみられる 水稻玄米収量の経年推移と各要素の施用効果

舩井隆志¹⁾・井澤敏彦²⁾

(¹⁾ 愛知県農業総合試験場 安城農業技術センター, (²⁾ 愛知県農業総合試験場 作物研究部)

要旨: 愛知県農業総合試験場では、1926年から水稻の四要素（窒素、りん酸、カリ、石灰）と堆肥の連用試験および窒素、りん酸、カリ、石灰各要素連年無施用の試験を行っている。2002年までの77年間における試験の中で、窒素、りん酸、カリ、石灰の各要素欠除は収量へ負の効果を示し、堆肥施用は収量増への効果を示した。このうち窒素およびりん酸欠除区の対四要素区収量比は77年間にわたって減少傾向が続くことが推察された。逆に堆肥施用区の対四要素区収量比は増加傾向にあり、堆肥施用効果が年次経過につれ増加していると考えられた。無カリ、無石灰区においても対四要素区収量比は年次を経るごとに増加傾向にあったが、その要因については明確にならなかった。また、窒素、りん酸、カリ、石灰の各要素欠除区、及び堆肥750 kg、堆肥2250 kg区と四要素区との収量差をそれぞれの各要素の施用効果、無肥料区における収量を地力とし、これに経過年次を加えて、各々を説明変数として用い、収量を目的変数として、重回帰分析を行ったところ、無りん酸、無カリ区では石灰施用が収量へ負の効果を示した。無カリ区では、石灰施用によりカリ欠乏が惹起していることが考えられ、また、無りん酸区では、石灰施用によってりん酸吸収条件が良くなったが土壌養分としてりん酸が吸収できるほど残存しておらず、一方で、施用されたカリとの競合が起き、石灰施用が負の効果を示すものと考えられた。無石灰区においてはカリ施用が収量へ負の効果を示した。また、無石灰区では、カリ施用によりカルシウム欠乏が惹起していることが示唆された。

キーワード: 五要素、重回帰分析、堆肥施用、要素欠除、連用試験。

愛知県農業総合試験場では1926年以来、水稻栽培における窒素、りん酸、カリ、石灰の四要素の連年施用を基とし、これに各要素の一部および全部を欠除した試験区、また堆肥を加えて連年施用を行う試験区を設定し、79年にわたり継続している。

本試験の1926～66年までの試験結果について、中西ら(1970)は、無肥料、石灰のみを施用した区（石灰単用）、無窒素、無りん酸区の生育は、窒素、りん酸、カリ、石灰を施した区（四要素）に比べ劣ることを報告している。また、本試験の結果を用いて、塩田ら(1980, 1982, 1984, 1985)は、土壌理化学性への施肥の影響、また化学肥料および堆肥施用水田土壌における施肥窒素の動向、堆肥の連用効果について考察を行っている。

本試験以外においても石塚・田中(1951a, b, c)は、肥料三要素（窒素、りん酸、カリ）のそれぞれを施用しない試験区を作成し、水稻生育への影響を考察しているし、各地で有機物連用試験および窒素、りん酸、カリの三要素試験について類似した試験が行われており、土壌状態への影響、生育への影響についての考察がなされている（志賀1980, 志賀ら1985, 金森2000）。水稻においては、独立行政法人農業生物系特定産業技術研究機構、青森県農試、滋賀県農試、山形県農試において有機物連用試験、三要素試験が全て60年以上にわたって行われており（上沢1991）、その試験の解析も行われている。しかし、当場の様に70有余年にわたり、同一ほ場で、有機物連用試験と石灰施用の有無を含めた四要素試験とを同時に行っている例はない。

本報告においては、79年の長期にわたる試験のうち77年間における各試験区の平均収量および収量推移について解析し、中西ら(1970)が報告した1926～1966年までの報告に加えて、2002年までの試験結果について統計学的な分析を試みた。

松尾ら(1979)、中田(1980)は、40年にわたる窒素、りん酸、カリ、堆肥施用試験の中で、各施肥要素の効果について多変量解析を用いて論じ、当該試験における情報量の多いデータの合理的解析を試みているが、本試験では各要素欠除区と、四要素区（窒素、りん酸、カリ、石灰施用した区）の収量差をその要素の効果とし、また堆肥施用区と四要素区の収量差を施用堆肥の効果として、重回帰分析を用いて論じ、いくつかの知見を得たのでここに報告する。

材料と方法

1. 試験土壌及び施肥設計

試験土壌は、花崗岩を母材とする洪積土壌で、作土の土性はLC（埴壤土）であり腐植含量は少ない。下層土の土性も同様にLCで腐植は少なく、構造は無構造で極めてち密、透水不良の土壌である（中西ら1970）。試験区は第1表に示したように、無肥料、石灰単用、無窒素、無りん酸、無カリ、無石灰、四要素、堆肥750 kg、堆肥2250 kgの9区である。施肥設計は1926～1954年、1955～1966年、1967～2002年で第1表のように窒素、りん酸の施用量が若干変わっている。基肥は全面全層施用（荒代後に全面散布し、その後の耕耘・整地で作土層への全層へ混和する施肥法）、追肥は表面施用された。

第1表 試験期間中の試験区別施肥量. (kg/10a)

試験区	1926～54		1955～66		1967～2002		1926～2002		
	窒素	りん酸	窒素	りん酸	窒素	りん酸	カリ	消石灰	堆肥
無肥料	0	0	0	0	0	0	0	0	0
石灰単用	0	0	0	0	0	0	0	111	0
無窒素	0	7.5	0	8.2	0	8.2	5.6	111	0
無りん酸	9.4	0	8.5	0	10.0	0	5.6	111	0
無カリ	9.4	7.5	8.5	8.2	10.0	8.2	0	111	0
無石灰	9.4	7.5	8.5	8.2	10.0	8.2	5.6	0	0
四要素	9.4	7.5	8.5	8.2	10.0	8.2	5.6	111	0
堆肥750kg	9.4	7.5	8.5	8.2	10.0	8.2	5.6	111	750
堆肥2250kg	9.4	7.5	8.5	8.2	10.0	8.2	5.6	111	2250

第2表 試験期間中の供試品種および栽培条件概要.

年次	供試品種	供試年数	田植時期	栽植密度 (株/㎡)	移植苗
1926～34	栄神力	9	6月下旬	15	成苗
1935～43	千本旭	9	7月上旬	18	成苗
1944～59	東海旭	16	6月下旬	18	成苗
1960～61	愛知旭	2	6月下旬	18	成苗
1962～63	金南風	2	6月下旬	18	成苗
1964～65	クサブエ	2	6月下旬	18	成苗
1966～70	金南風	5	6月下旬	18	成苗
1971～86	日本晴	16	6月上旬	18	成苗
1987～93	月の光	7	6月上旬	21	稚苗
1994～2002	日本晴	9	6月上旬	21	稚苗

2. 供試品種および栽培条件概要

栽培品種は1926年は栄神力、その後2002年まで愛知県における作付品種の変遷に伴って8品種が供試された(第2表)。また、栽培条件は第2表に示すとおりであり、1987年からはそれまでの成苗に代わって稚苗が移植された。各試験区はコンクリート枠で区切られた25.7～33.0 m²区画の1区制である。

3. 各試験区の収量及び収量推移

玄米収量(以下、収量)を対象に取り上げ、各試験区の77年間の収量平均値を算出した。年次推移を観察するため、経過年次を説明変数に、各試験区(四要素を除く)の対四要素収量比を目的変数にして、重回帰分析を行った(無りん酸においては欠測値の2001年を除く)。標準残差が2.0を超える外れ値については除いて分析した。また、77年間の1926～1963年(前半)と1964～2002年(無りん酸が欠測値の2001年を除く)(後半)に分け、四要素を除く各試験区の対四要素収量比を比較した。比較には分散分析を行ったが、各値を角変換したものについて分析した。

4. 各施用要素等を説明変数に用いた重回帰分析

1926～2002年の77年間(無りん酸が欠測値の2001年を除く)における各試験区の収量結果について、各要素の効果を各要素欠除区の四要素区からの収量差で評価した(例:窒素の効果=四要素収量-無窒素収量)。目的変数を各試験区の収量、また説明変数を(窒素の効果)、(りん酸の効

果)、(カリの効果)、(石灰の効果)、(堆肥の効果)、(経過年次)、(地力=無肥料収量)とし、重回帰分析を行った。説明変数選択には逐次法(ステップワイズ法)を用いた(田中・脇本1983)。逐次法における、説明変数と目的変数間の相関係数(決定係数)の比較は、全ての試験年次データ(無りん酸が欠測値の2001年を除く)での分析における標準残差が2.0を超える外れ値を除いたものにおいて行った。各説明変数を重回帰式に含めるか否かを定める、重回帰係数検定のためのF値は、 $F \geq 2.0$ であれば回帰係数が0であるという仮説を棄却し、重回帰式の説明変数として採択した。説明変数選択後、全ての試験年次データ(無りん酸が欠測値の2001年を除く)での分析における標準残差が2.0を超える外れ値を除いたデータについて、各要素の標準偏回帰係数、重相関係数、決定係数、自由度調整済決定係数を求め、有意確率p値を算出した。

結 果

1. 各試験区の収量および収量推移

(1) 各試験区の平均収量の比較

1926～2002年までの各試験区の77年間の平均収量は第3表のとおりであった。四要素区(以下四要素)の収量は386 kg/10 aで各要素の欠除区はいずれも四要素を下回っ

第3表 各試験区の77年間の平均収量と対四要素収量比.

試験区	1926～2002年の 平均収量 (kg/10a)	
無肥料	137 ± 43(35)	**
石灰単用	147 ± 41(38)	**
無窒素	200 ± 41(52)	**
無りん酸	148 ± 63(38)	**
無カリ	349 ± 63(90)	**
無石灰	374 ± 60(97)	**
四要素	386 ± 55(100)	
堆肥750kg	437 ± 67(113)	**
堆肥2250kg	489 ± 75(127)	**

¹⁾ ()内は四要素に対する収量比(%)を表す。

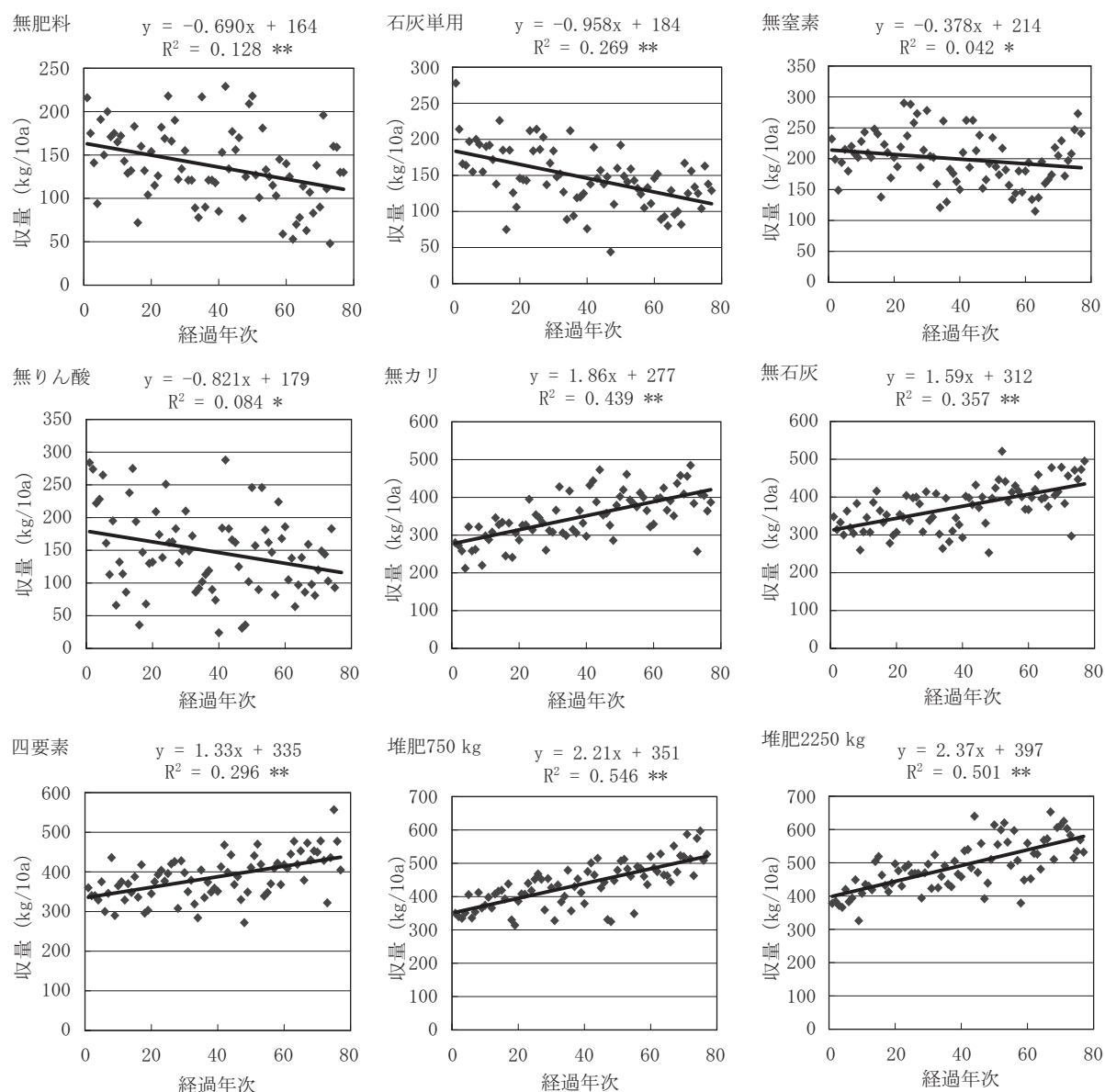
²⁾ **: 四要素との収量差について、危険率1%水準で有意差あり。

た. 収量の低い順で, 無りん酸 148 kg/10 a (対四要素収量比 38%), 無窒素 200 kg/10 a (同 52%), 無カリ 349 kg/10 a (同 90%), 無石灰 374 kg/10 a (同 97%) であった. 石灰単用, 無肥料はそれぞれ 147 kg/10 a (同 38%), 137 kg/10 a (同 35%) で, りん酸欠除区に近い収量水準であった. なお, 石灰単用と無肥料の平均収量の差と, 四要素と無石灰の平均収量の差は 10 kg/10 a および 12 kg/10 a とほぼ同じであり, 石灰の施用は 10~12 kg/10 a の収量増に貢献していた. 堆肥施用区はいずれも四要素の収量を上回り, 堆肥 750 kg は 437 kg/10 a (同 113%), 堆肥 2250 kg は 489 kg/10 a (同 127%) であった.

(2) 各試験区の収量の推移

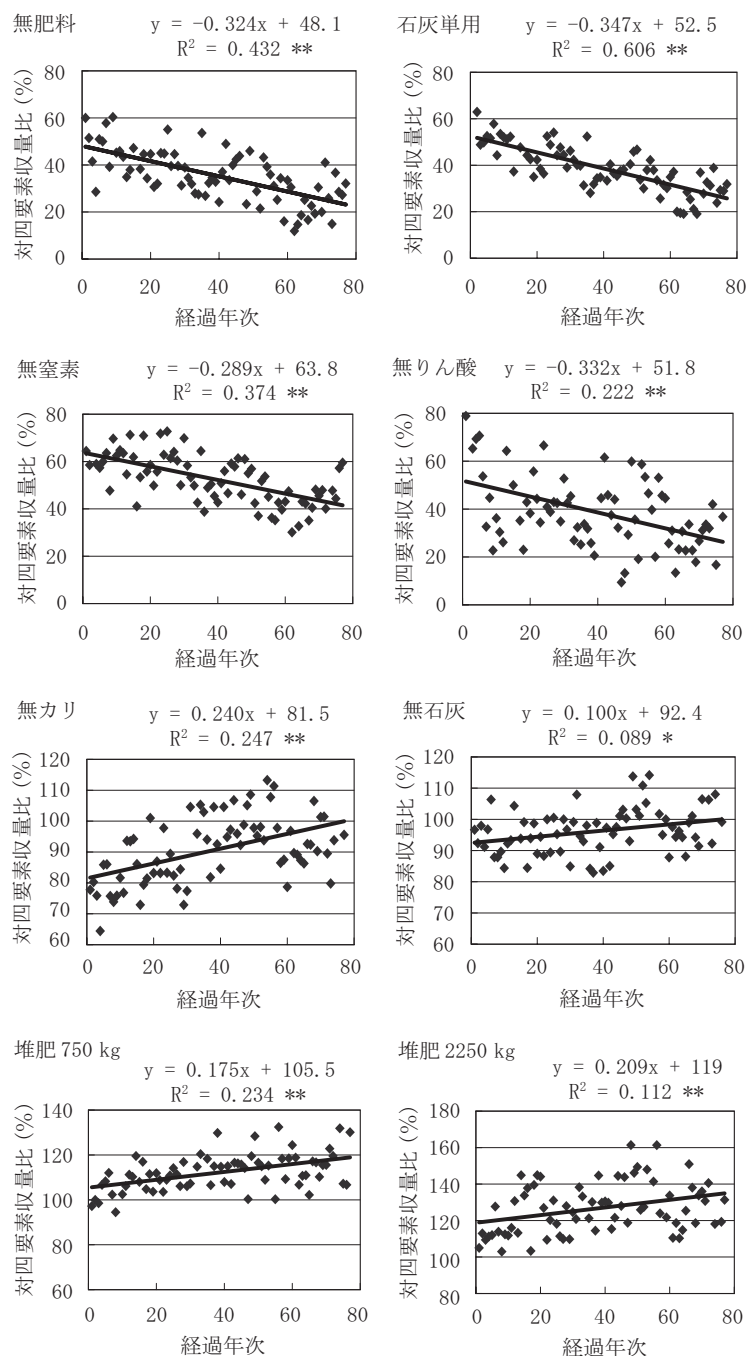
経過年次と各試験区の収量との関係を第 1 図に示す. ま

た, 各試験区 (四要素区を除く) の対四要素収量比との関係を第 2 図に示し, 試験年次の前半 (1926~1963) と後半 (1964~2002) で比較した対四要素収量比を第 4 表に示す. 無肥料, 石灰単用, 無窒素, 無りん酸の各区は, 経過年次とともに収量は減少傾向にあった (第 1 図). 対四要素区収量比も減少傾向にあり (第 2 図), 試験年次前半と後半では, 後半の方がいずれも対四要素収量比が低かった (第 4 表). 一方, 無カリ, 無石灰, 四要素, 堆肥 750 kg, 堆肥 2250 kg 各区の収量は, 年次を経るごとに大きくなっていった (第 1 図). また, 無カリ, 無石灰, 堆肥 750 kg, 堆肥 2250 kg の各区の対四要素区収量比は年次を経るごとに大きくなる傾向がみられ (第 2 図), 試験年次後半の方がいずれも対四要素区収量比が高かった (第 4 表).



第 1 図 各試験区の経過年次に伴う収量の推移 (kg/10a).

** : 回帰係数は1%水準で有意, * : 回帰係数は5%水準で有意.



第2図 各試験区の経過年次と対四要素収量比の推移（四要素の収量を100とした）。

**：回帰係数は1%水準で有意，*：回帰係数は5%水準で有意。

2. 各施用要素等を説明変数に用いた重回帰分析

収量を目的変数として、各施用要素の効果、地力および経過年次を説明変数として重回帰分析を行ったときの、無窒素～堆肥 2250 kg の各試験区における各説明変数の標準偏回帰係数および重相関係数、決定係数、自由度調整済決定係数、p 値を第5表に示す。

試験区の中で無カリ、無石灰、四要素、堆肥 750 kg、堆肥 2250 kg の各区における説明変数の寄与率は 0.7 (70%) を超えた。特に四要素 (88%)、堆肥 750 kg (92%)、堆肥 2250 kg (94%) で寄与率が高かった。無窒素においても

69.1%とほぼ70%であったが、無りん酸では寄与率が38%であった。いずれの試験区についても p 値は 0.01 を大きく下回った (第5表)。

説明変数として用いた要素のうち、経過年次は、無りん酸、無カリ、無石灰、四要素、堆肥 750 kg、堆肥 2250 kg 各区の重回帰式で採択され、無りん酸区以外では全て正の値の標準偏回帰係数であった。地力、窒素（無窒素区を除く）およびカリ（無カリ区を除く）、堆肥（堆肥施用区のみ）は分析を行った全ての試験区の重回帰式で採択され、また地力、窒素、堆肥はいずれも正の標準偏回帰係数であった。

第4表 各試験区の四要素に対する収量割合の比較.

試験区	前半 (1926 ~ 63)	後半 (1964 ~ 2002)	有意差検定
無肥料	41	32	**
石灰単用	46	32	**
無窒素	58	47	**
無りん酸	44	33	**
無カリ	86	96	**
無石灰	95	99	*
堆肥 750kg	110	117	**
堆肥 2250kg	123	133	*

¹⁾ 後半は2001年のデータを除く.

²⁾ 分析は角変換をして行った.

³⁾ *: 危険率5%水準で有意差あり,

** : 危険率1%水準で有意差あり.

りん酸, 石灰については, 採択される試験区と採択されない試験区に分かれた. 無りん酸区における経過年次, 無りん酸区と無カリ区における石灰の効果, および無石灰区におけるカリの効果のみ標準偏回帰係数が負の値であった (第5表).

考 察

1. 各試験区の収量および収量推移

77年間の長期にわたる試験において, 各要素欠除が, 収量へ負の効果を示すことは統計的にも明らかであった. また堆肥が収量増へ効果のあることについても同様に統計的に明らかであった.

窒素およびりん酸欠除区 (無肥料, 石灰単用, 無窒素, 無りん酸) の対四要素収量比が年次を経るごとに減少傾向にあった. 中西ら (1970) は無肥料, 石灰単用, 無りん酸について, 1926~1965年の試験結果において, 対四要素収量比が次第に減少していることを報告しているが, 1926~1963年と1964~2002年の比較から, 2002年まで77年間にわたり対四要素収量比の減少傾向は続いていることが明らかになった. また中西ら (1970) は, 前半40年間の試験における無窒素の対四要素比の減少傾向については観察されなかったと報告しているが, その後の37年間の推移をみた本結果を加えると, 無窒素においても無肥料, 石灰単用, 無りん酸同様に対四要素収量比が減少傾向にあると考えられた.

堆肥の効果についても中西ら (1970) は, 前半40年間

の試験において試験年次が経過するほど, また施用量が多い方が増収することを報告しているが, 2002年まで同様の傾向が続いていると考えられた.

塩田ら (1982) は, 本試験における無肥料区について, 一定期間経過後は, 地力の低下が止まることを報告している. また, 北海道の水稻栽培の事例で, 無肥料栽培において, 減収率は晩生品種で小さく, 早生品種で大きいこと, また多肥の悪影響を早生品種は受けにくく, 中晩生品種は受けやすく著しく減収することが報告された (高橋ら1980). 無肥料, 石灰単用, 無窒素, 無りん酸各区の対四要素区収量比が減少傾向にある要因に関しては, 作付品種が年次を経るにつれて早生品種に移行していること, 地力の減耗が収束していることを考慮すると, 愛知県においても北海道でみられたように早生品種の方が無肥料の影響を受けやすいことも示唆された. しかし, 中晩生品種が供試された試験年次 (1926~1970) および早生品種が供試された試験年次 (1971~2002) の前半と後半の対四要素収量比を比較すると, 窒素およびりん酸欠除区 (無肥料, 石灰単用, 無窒素, 無りん酸) の対四要素収量比は, いずれも後半の方が対四要素収量比が低く, 地力の減耗は品種によらず年次経過とともに起こっていることが考えられる.

堆肥施用区 (堆肥 750 kg, 堆肥 2250 kg) の場合, 年次を経るにつれ対四要素収量比が増加傾向にあった. 堆肥連年施用に伴う土壌有機物の集積が土壌養分保持能, 保持量の増加に寄与し (上沢 1991), また直接的な肥料効果が増加傾向にある (山下 1967, 1978) と考えられるが, 品種が晩生品種から早生品種へ移行していることも要因の一つと考えられた.

無カリ区, 無石灰区についても年次を経るごとに, 対四要素区収量比が増加傾向にあった. この要因については, かんがい水からのカリ, カルシウム天然供給量の増加が考えられる. 中西ら (1970) は1954年に, 塩田ら (1980) は1979年に, Katoh ら (2003, 2004) は1999年, 2000年, 2001年に当試験ほ場のかんがい水 (明治用水) の水質を調査しており, 各調査におけるカリ濃度は0.8~3.2 mg/L, カルシウム濃度は3.2~8.0 mg/Lの範囲にあり大きな差異はみられなかったが, 試験初期には, 水田へのかんがい水の供給が不安定であったことが考えられ, カリ, カルシウムの天然供給量が少なかったことも一因と考えられる.

第5表 無窒素~堆肥 2250 kg 区における各施用要素および経過年次を説明変数, 収量を目的変数とした重回帰分析の結果.

説明変数 目的変数	経過年次	地力	窒素	りん酸	カリ	石灰	堆肥	重相関係数 R	決定係数 R ²	自由度調整済 決定係数 R ²	p 値
無窒素		0.81			0.13			0.831	0.691	0.682	4.65×10 ⁻¹⁸
無りん酸	-0.35	0.39	0.22		0.28	-0.41		0.614	0.377	0.330	5.12×10 ⁻⁶
無カリ	0.45	0.47	0.56			-0.22		0.881	0.776	0.762	4.78×10 ⁻²¹
無石灰	0.30	0.52	0.70		-0.20			0.867	0.752	0.737	5.33×10 ⁻¹⁹
四要素	0.25	0.58	0.66	0.20	0.16			0.938	0.879	0.870	1.75×10 ⁻²⁸
堆肥 750kg	0.27	0.45	0.51	0.13	0.11		0.46	0.961	0.924	0.917	2.17×10 ⁻³⁴
堆肥 2250kg	0.19	0.41	0.45	0.14	0.11		0.79	0.970	0.940	0.935	3.20×10 ⁻³⁷

他にも降雨に含まれるカリ、カルシウムの影響、また気象要因等の影響、窒素とりん酸欠除の場合とは逆に、晩生品種の方がカリ、カルシウム欠除の影響を受けやすいこと等が考えられるが、その要因については明確にならなかった。

2. 各施用要素等を説明変数に用いた重回帰分析

無りん酸区における、各施用要素の効果と地力、経過年次のみを説明変数とする重回帰分析での決定係数は、統計的には有意となったものの、他試験区よりもかなり低く、施用要素、経過年次の他にも無りん酸区の収量を説明する要因が存在するものと考えられた。しかし、各試験区での重回帰分析において、無りん酸区における経過年次の標準偏回帰係数は負の値であり、年次を経るごとに無りん酸区の収量が減少することが考えられた。本試験における無りん酸区の水稲は、生育量が著しく少ないにも関わらず、葉が濃緑色となり、明らかに通常の水稲の生育と乖離しており、りん酸が水稻生育の制限要因となっていることが示唆された。

また、無りん酸区および無カリ区における石灰の効果も標準偏回帰係数が負であり、りん酸無施用、カリ無施用の場合、石灰施用がマイナスの効果をもたらすことが示唆された。高橋・吉田(1952)は、タバコにおいて、カルシウムの供給が増加するにつれ、カリ欠乏症を助長する傾向がみられることを報告しているが、本試験における無カリ区においては、石灰が施されており、水稻においても石灰施用によるカリ欠乏惹起のため、若干の減収が統計的に観察されたと考えられる。

また、pH 上昇とりん酸の溶出増加には極めて密接な関係が知られており(Russell 1962, Patric ら 1968)、水田土壌のような弱酸性の条件において、石灰施用でりん酸吸収能の高まることが考えられるが、無りん酸区の場合、石灰施用により、りん酸吸収条件が良くなっても、土壤養分としてのりん酸が吸収できるほど残存しておらず、一方で、施用されたカリとの競合が起きているため、石灰施用が収量へ負の効果をもたらしたのと考えられる。

無石灰区におけるカリの効果についても、標準偏回帰係数が負の値になっていた。カリ施用により、カルシウムとの拮抗作用(高橋ら 1980)を生じ、カルシウム欠乏を助長していることが示唆された。

重回帰分析における地力の効果は全ての試験区で有意に観察された。しかし、無カリ、無石灰、堆肥 750 kg、堆肥 2250 kg 各区における収量の、地力との単相関はほぼ 0 ($-0.03 \sim 0.08$) を示し、当該試験区においては、地力が抑制変数(柳井・岩坪 1976, 豊田 1998)であることが考えられた。四要素区においても、地力と収量との単相関係数(0.20)を、標準偏回帰係数(0.58)が上回っていた。地力は無カリ、無石灰、四要素、堆肥施用各区において、直接収量と関係がないようにみえても、他の説明変数が一定の場合には、地力が高まるほど、収量が高くなることが

考えられた。

謝辞: 長期にわたる本試験の結果について考察を行ってきたが、開始当初から現在に至るまでの試験および実際の栽培に携わった非常に多くの方々の実績の積み重ねが、このような結果のとりまとめにつながっている。また、論文作成にあたっては、名古屋大学大学院農学研究科服部一三教授、木村真人教授のご助言をいただき、愛知県農業総合試験場の多くの皆様からのご助言をいただいた。ここに絶大なる謝意を表す次第である。

引用文献

- 石塚喜明・田中明 1951a. 水稻三要素施肥用量試験 第 1 報窒素・土肥誌 22: 2-6.
- 石塚喜明・田中明 1951b. 水稻三要素施肥用量試験 第 2 報磷酸・土肥誌 22: 183-186.
- 石塚喜明・田中明 1951c. 水稻三要素施肥用量試験 第 3 報加里・土肥誌 22: 187-191.
- 金森哲夫 2000. 国公立試験研究機関における有機物・肥料等の長期連用試験の現状について・土肥誌 71: 286-293.
- Katoh, M., A. Iwata, I. Shaku, Y. Nakajima, K. Matsuya and M. Kimura 2003. Impact of water percolation on nutrient leaching from an irrigated paddy field in Japan. *Soil Use and Management*. 19: 298-304.
- Katoh, M., J. Murase, M. Hayashi, K. Matsuya and M. Kimura 2004. Nutrient leaching from the plow layer by water percolation and accumulation in the subsoil in an irrigated paddy field. *Soil. Sci. Plant Nutr.* 50: 721-729.
- 松尾嘉郎・中田均・高橋英一 1979. 滋賀農試長期圃場試験成績の多変量解析(第 1 報) 水稻収量のパターン解析・土肥誌 50: 311-316.
- 中西秋四郎・沖村逸夫・加藤虎治・有沢道雄・河合伸二 1970. 水稻に対する継続 40 年間の要素試験成績について(第 1 報) 水稻の生育収量、養分吸収、土壌変化・愛知県農業試験場彙報 24: 46-60.
- 中田均 1980. 肥料三要素および堆肥の長期連用が土地生産力におよぼす影響の数理統計学的解析・滋賀県農試特別研究報告 13: 1-108.
- Patric, Jr., H.Wm and I.C. Mahapatra 1968. Trans-formation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. *Adv. in. Agron.* 20: 323-359.
- Russell, E. W. 1962. *Soil Conditions and Plant growth*. 9th Ed. Chap. 26.475-511.
- 志賀一 1980. 半世紀の有機質および無機質肥料連用試験・農事試験場報 31: 4-8.
- 志賀一・大山信雄・鈴木正昭・前田乾一・鈴木弘吾 1985. 水田における有機物管理が土壌の有機物集積、窒素供給能、水稻生育におよぼす影響・農業研究センター研究報告 5: 21-38.
- 塩田悠賀里・稲垣明・長谷川徹・沖村逸夫 1980. 四要素及び堆肥の長期施用による水田土壌の理化学性の変化と水稻の生育について・愛知農総試研報 12: 52-60.
- 塩田悠賀里・長谷川徹・沖村逸夫 1982. 無肥料、化学肥料単用及び堆肥連用水田土壌における施肥窒素の動向・愛知農総試研報 14: 53-59.

- 塩田悠賀里・佐野勝昭・沖村逸夫 1984. 水稻の窒素吸収からみた稲わら堆肥連用の短期および長期的評価. 愛知農総試研報 16 : 43-51.
- 塩田悠賀里・長谷川徹・沖村逸夫 1985. 堆肥連用水田土壌の無機態窒素, 水溶性有機炭素, 酸化還元電位, pH 等の推移. 愛知農総試研報 17 : 106-114.
- 高橋英一・谷田沢道彦・大平幸次・山田義雄・田中明 1980. 新版作物栄養学. 朝倉書店, 東京. 170-219.
- 高橋達郎・吉田大輔 1952. タバコ植物の栄養に及ぼす各種イオンの相互作用について (第4報) -Mg と K, Ca の相互作用. 土肥誌 27 : 468-471.
- 田中豊・脇本和昌 1983. 多変量統計解析法. 現代数学社, 京都. 1-51.
- 豊田秀樹 1998. 共分散構造分析 [入門編]. 朝倉書店, 東京. 35-50.
- 上沢正志 1991. 化学肥料・有機物の連用が土壌・作物収量に与える影響の全国的解析. 農業技術 46 : 393-397.
- 山下鏡一 1967. 堆肥の連用が水田土壌の腐植ならびに理化学的諸形質に及ぼす影響. 九州農業試験場彙報 13 : 113-155.
- 山下鏡一 1978. 水田における有機物の効果と問題点. 土肥誌 49 (特集号) 52-60.
- 柳井晴夫・岩坪秀一 1976. 複雑さに挑む科学. 講談社, 東京. 150-176.

The Yielding of Rice and the Effects of Each Element in Consecutive 77-Year Lacking of Four Elements and Fertilizing with Compost : Takashi MOMII^{1, 2)} and Toshihiko IZAWA³⁾ (¹⁾ *Aichi-Prefectural Agricultural Research Center, Anjo Extension Station*; ²⁾ *Aichi-Prefectural Chita-Branch Office of Agricultural, Forestry and Fishery, Handa 475-0903, Japan*; ³⁾ *Aichi-Prefectural Agricultural Research Center, Crop Research Division*)

Abstract : The effects of four fertilizer elements (nitrogen, phosphoric acid, potassium and lime) and compost on rice plant during the 77 years from 1926 were studied. Lack of adding nitrogen, phosphoric acid, potassium and lime significantly decreased the yield, conversely adding compost increased the yield. The ratio of the yield in the plot lacking nitrogen or phosphoric acid to that with four elements fertilized was considered to decrease gradually. On the contrary, the ratio of the yield in the plot with compost to that with four elements fertilized gradually increased. Therefore, it is considered that compost effect is increased gradually. However, it was uncertain why the ratio of the yield in the plot lacking potassium and lime to that with the four elements gradually increased. We found definite fertility of the soil without application of fertilizer and the effect of four elements on the yield.

Key words : Adding compost, Component deficiency, Consecutive study, Five elements, Multi-regression-analysis.