

「地力指数」のすすめ

＝水稲の生育状況で地力窒素の発現量を知る＝

富山県環境科学センター 生活環境課

副主幹研究員 岡山 清 司

(前 富山県農業技術センター農業試験場 土壤肥料課)

「おいしい米を、たくさん安定的に収穫する。その上、倒伏もさせず、手軽で、生産コストがかからないようにする」これが、米づくり農家の夢かと思われる。

この夢の米づくりには、いろんな要因がからんでくる。栽培的な方面からは、栽植密度や天候、水の掛け引き等があり、また、土壤肥料の面からは、施肥量や施肥時期の設定等が重要になってくる。

この施肥量や施肥時期の設定には、ほ場からどれだけ地力窒素が発現するかを把握することが重要である。この際、個々の土壤の単位重量当たりの発現量については、実験室的に多くの研究があり、方法もいくつか確立されている。

しかし、稲作において「水稲の地力窒素由来の窒素吸収量」は、土壤の単位重量当たりの窒素の発現量に土壤の仮比重と作土層の深さを乗じ、さらに、その年の地力窒素の水稲による利用率を乗じたものが必要である。

その上に、もっと現場対応的なもの、すなわち、ほ場からの地力窒素の吸収量が即断できて、それに対する対応が即決できるもの、作物関係の「葉色判断」のようなものが土壤肥料関係にも必要であると考えられる。

この総合的な水稲における地力窒素の吸収量の判断指標として「地力指数」を提案したい。

古来から、農家は稲作りにおいて「田のくせ」を読み、施肥量を決定してきた。これは、長年のほ場とのつきあいの中で経験的に把握されたものである。この「田のくせ」といったものを、数値的にあらわしたものが「地力指数」の概念である。

この「田のくせ」を示すものとしては、農業試験場等では、試験田を設定する際に、ほ場から発現する地力窒素とその水稲の生育反応を把握する

ために無窒素区を設定しているが、この無窒素区の窒素吸収量が「地力指数」に該当し、数値化できるのではないかと考えた。

すなわち、地力指数は、無窒素区の窒素吸収量そのものであり、この窒素吸収量を現場的に判断するものとして、現在、葉色×草丈×茎数（葉色はSPAD502の数値を使用、茎数は本/m²、得られた数値に1/1000を乗じる：以下「葉色指数」と記述）の値との相関が高いことから、利用できるのではないかと考えた。

すなわち、その年における地力窒素由来の水稲の窒素吸収量→無窒素区の水稲の窒素吸収量→無窒素区の葉色指数→地力指数である。

この「地力指数」の検討にあたって、富山県農業技術センターに設置された人工ほ場における平成5年度～9年度の5カ年のデータをとりまとめた。これは、先に平成11年の「農業と科学」9月号で発表した「米の食味に対する土壤タイプ及び施肥窒素の影響」と同じほ場である。

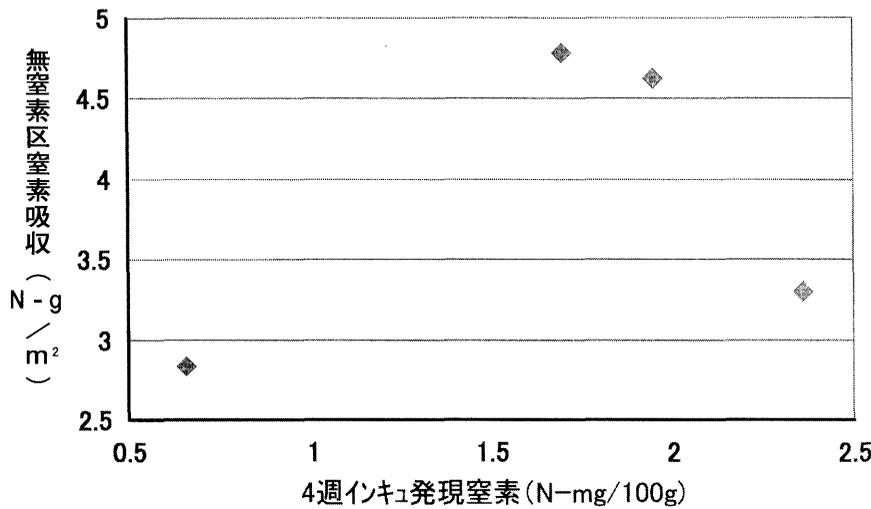
この人工ほ場には、黄色土、粘質土、黒ボク土、砂質土があり、作土深を一定にして造成してある。また、気象条件も水管理条件もほぼ一定であり、「地力指数」を検討するにあたって、非常に便利なものであると考えられた。また、気象条件として、平成5年度の冷夏の年や9年度の比較的天候に恵まれた年が含まれており、気象の影響を検討するためにも適当であると考えられた。

ここでの「地力指数」は、無窒素区の水稲（品種：コシヒカリ）の幼穂形成期の葉色指数として設定した。これは、幼穂形成期では水稲栽培において基肥を施用してきて適正な生育に達しているかを判断するために重要な時であり、また、その後の穂肥施用量を決定するためにも重要な時であると考えられたからである。

1. 湛水30℃ 4週インキュベーションによる地力窒素の発現量と無窒素区窒素吸収量との関係

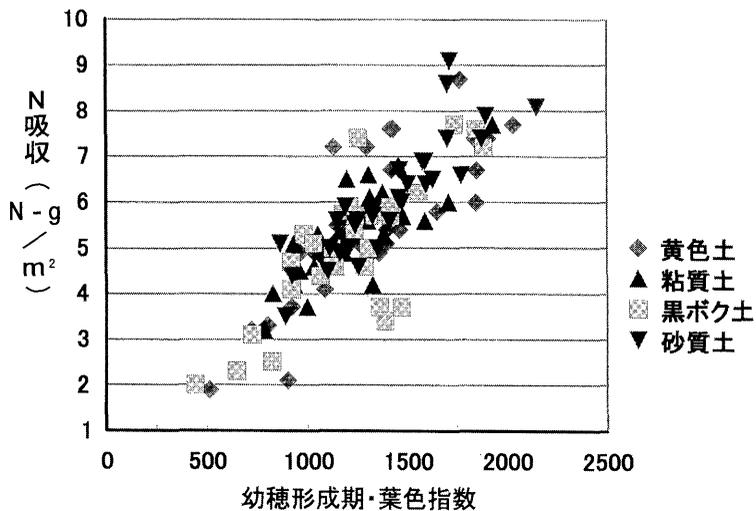
最初に、現在、地力窒素量を現す指標である湛水30℃ 4週インキュベーション値（水田土壌を湛水状態にし、30℃で保温し、一定期間に発現する窒素量を測定）と水稻の窒素吸収量との関係について検討した（図1）。

図1. 地力窒素発現と無窒素区窒素吸収



地力窒素の発現量を表すとされる30℃湛水4週インキュベーション値と無窒素区の窒素吸収量との間には、相関がまったくみられなかった。インキュベーションによる地力窒素の発現量は、水稻の窒素吸収量の推定には不十分であるとみられ、

図2. 葉色指数とN吸収（5-9年度）



作土深や仮比重といったものを入れた総合的な地力判断を行う必要があるとみられた。さらに地力問題を考える時、現在、堆きゅう肥の施用や基盤整備、転作等のほ場来歴によって、ほ場毎に地力が異なると考えられ、土質や土壌タイプ毎より、ほ場一筆毎に地力窒素の現状を把握する必要がでてきているとみられる。また、ほ場毎の分析は、

労力的にいても困難が多く、水稻の生育状況を表す「葉色」といった簡便な、現場対応的なものの確立がここでも望まれる。

2. 幼穂形成期における水稻の葉色指数と窒素吸収量（葉色指数から窒素吸収量を簡易的に判断する可能性）

地力指数は水稻が土壌から吸収する窒素吸収量を葉色指数から判断していこうという試みであるため、最初に、幼穂形成期における水稻の窒素吸収量と葉色指

数との関係を検討した（図2）。

これによると、葉色指数と窒素吸収量は土壌タイプや年次にかかわらずほぼ同一直線上にあった。このことは、土壌タイプに関係なく、窒素吸収量に伴って水稻の生育量（草丈×茎数×葉色）が決定されると考えられた。また、葉色指数と窒素吸収の関係式は一つで十分であるとみられた。

これまで、窒素吸収や水稻の生育は土壌タイプによって異なるのではないかと推定し、検討が進められてきた。しかし、土壌タイプにあまり関係がなく、同じように取り扱うことができるとみられたことは、現場において、葉色指数から窒素吸収量を推定する場合に、より便利なものになりうると考えられた。

関係式： {葉色指数からN吸収量}

$$Y \text{ (窒素吸収量)} = 0.00357 \times X \text{ (葉色指数)} + 0.8893 \quad \dots \textcircled{1} \quad r = 0.816 \quad n = 124$$

{N吸収量から葉色指数}

$$Y \text{ (葉色指数)} = 186.65 \times X \text{ (窒素吸収量)} + 265.668 \quad \dots \textcircled{2}$$

3. 地力指数に対する気温の影響

水田土壌からの地力窒素の発現量は、気温に影響を受ける。このため、施肥の影響を受けない無窒素区の葉色指数（地力窒素）が気温に対してどのような動きするかを検討し、図3に示した。

気温は、田植（5月）から幼穂形成期（7月中

旬）までの積算気温をとった。

水稻の地力指数（無窒素区の葉色指数）は、積算気温が高まるとともに増加する傾向がみられた。

ここで、気温が地力指数に与える影響の割合をみるために各土壌タイプ別に地力指数（無窒素区窒素吸収量）の平均値を1として、年次による積算気温との関係をみた（図4）。

積算気温の中心値（平均）は295℃であり、上下に5割程度の地力指数の幅がみられた。積算気温の範囲は、275～315℃の範囲で40℃の差であり、小さな温度差によって地力指数に大きな差異がでてくる。ただし、黄色土では、その割合が若干小さいことがみられた。

図3. 積算気温と地力指数

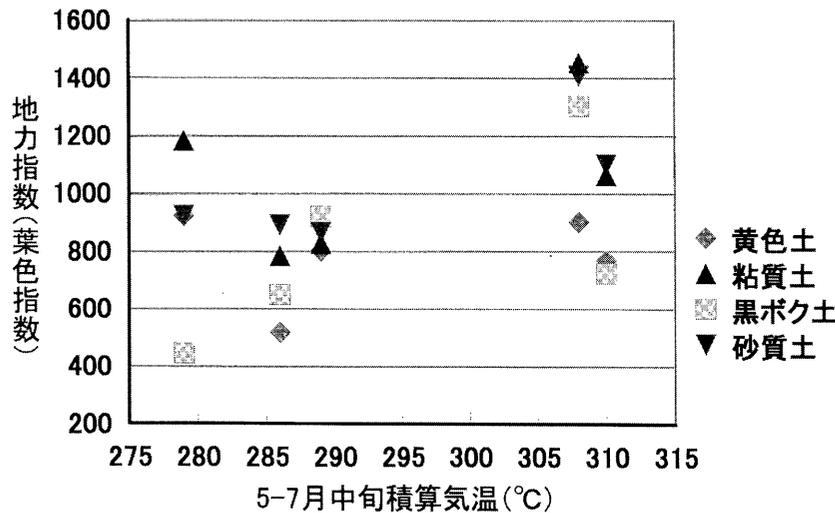
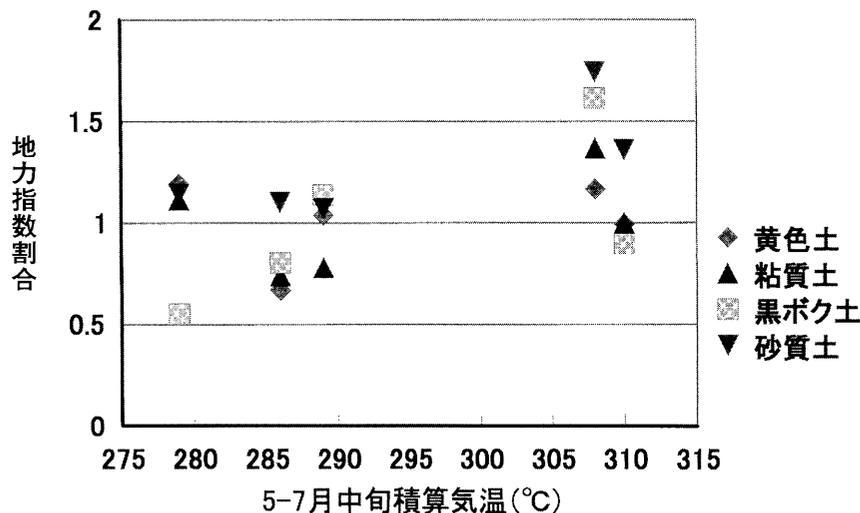


図4. 積算気温と地力指数割合



全体の相関係数 r は 0.483 (n=20) であり、高くなかった。

これらのことを要約すると以下ようになる。

水稻に吸収利用される地力窒素は、幼穂形成期までの積算気温が約290℃のところにおいて平均的な量が出てくる。また、積算気温の小さな変化でその量に変化し、約20℃高まると、5割程度高まる可能性が大となり（黄色土では少ない）、逆に積算気温が約20℃低下すると、5割程度地力窒素の吸収量が少なくなる可能性が高くなる。この大きな変化の原因は、土壌から発現する地力窒素量の差の他に水稻の窒素吸収量の差異が気温等気象条件の影響を受けるためではないかと考えられた。

4. 施肥ほ場の葉色指数から地力指数の推定

積算気温から地力指数の推定には、誤差が多いことがみられたことから、もっ

と現実的に、すなわち実際に生育している水稻の生育状況からその年の地力指数を推定できないかを次に検討した。

すなわち、地力指数（幼穂形成期の無窒素区の葉色指数）＝施肥ほ場の葉色指数－基肥施用による葉色指数増加量…③の式の可能性を検討した。

基肥施用による葉色指数増加量は、基肥×基肥の単位当たり葉色指数増加量（基肥の葉色割合として以下記述）であり、この基肥の葉色割合が明らかになっていることが必要であり、この割合について積算気温に対する変化を検討した（図5）。

早追を施用してある場合は、その施肥量の1/10を加えたものを基肥量とした。

図5. 積算気温と地力指数の基肥利用割合（地力指数/基肥）

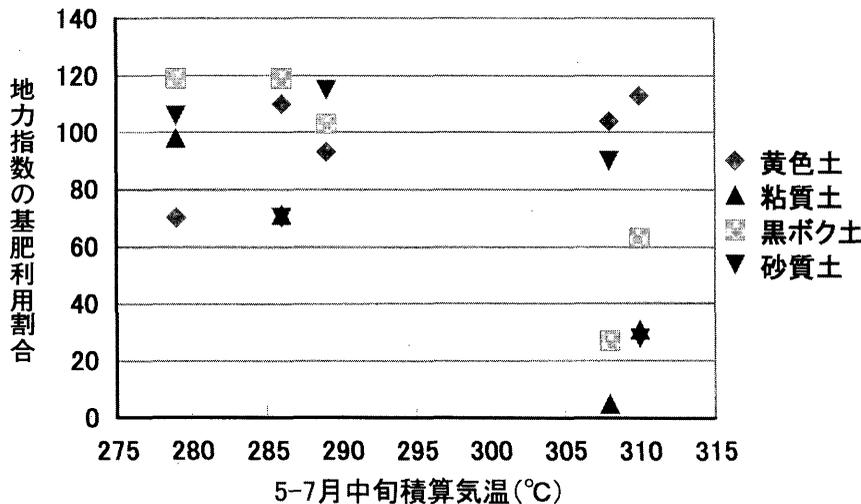
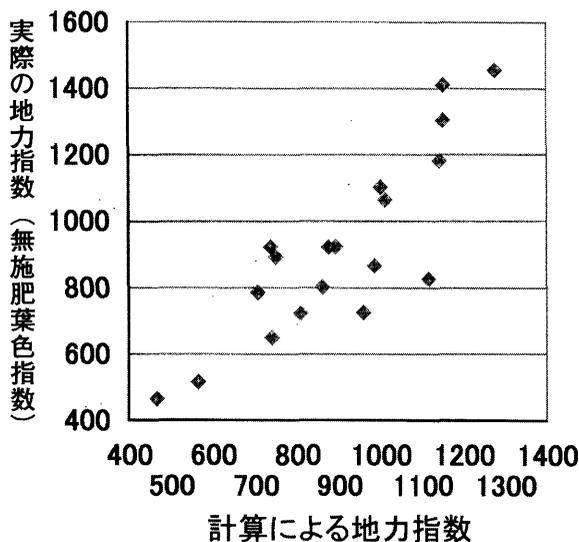


図6. 計算と実際の地力指数



これによると、砂質土、黒ボク土、粘質土では、基肥の葉色割合は、積算気温が高まるにつれて少しずつ低下する傾向がみられた。この原因については、はっきりしたことがわからないが、積算気温が高まった時、地力が多く発現してきており、施肥による水稻の見かけの窒素吸収量の増加効果が小さくなるのではないかと考えられた。

積算気温と基肥の葉色割合の関係式を求めると以下のようなになった。

砂質土、黒ボク土、粘質土の基肥の葉色割合＝ $-2.0439 \times \text{積算気温} + 681.37$ …④

黄色土においては、基肥の葉色割合は積算気温に対してあまり変化が見られずほぼ100で一定であった。

砂質土、黒ボク土、粘質土においては④の式でもとめた基肥の葉色割合を、黄色土においては100の値を利用し、地力指数＝幼穂形成期の葉色指数－（基肥の葉色割合×基肥量）…⑤によって計算した地力指数と実際の地力指数の関係をみたのが図6である。これによると相関係数 r は0.85であり、高い相関関係があるとみられ、これらの方式（式⑤）によって現場対応

的な地力指数が判断できるのではないかと考えられた。

また、砂質土、黒ボク土、粘質土における平均的な基肥の葉色割合は④の式に積算気温の中心値290℃を入れて計算し、88の値を得た。黄色土では変化無しとして100である。

5. 地力指数の判断基準

地力指数の判断基準のためには、適正な水稻の生育の姿を明らかにし、その中から指標となる水準を明確にする必要がある。

このために、富山県では良食味米の生産のためには、良く登熟させることが大切であるとしており、登熟歩合と着粒数との関係を検討した（図7）。

これによると、平成7年度のように着粒数が比較的少なく、登熟歩合が全て90%付近にある年、また平成9年度のように着粒数が比較的多く、多

く着いた部分で登熟歩合が低下する年、さらに、冷夏の平成5年度のように、25,000/m²くらいから急激に登熟歩合が低下する年があった。しかし、

土壤タイプに関係なく、ほぼ28,000/m²以上着粒数が取れると登熟歩合が低下することがみられた。

この着粒数の値は富山県におけるコシヒカリの良食味米生産のための基準となっている。ただし、平成5年度のように、冷夏と考えられる年には、着粒数の目標を低く抑えるべきと考えられた。

次にこの基準とする着粒数を確保するための幼穂形成期における窒素吸収量を検討した(図8)。

幼穂形成期のN吸収量と着粒数とは相関が高いことがみられた。しかも、年度や土壤タイプ及び窒素施肥の有無にかかわらずほぼ一直線上にあり、コシヒカリの幼穂形成期の適正N吸収量は、土壤タイプや年次変化、施肥の有無にはほとんど関係なく、一つの適正值で決定されるとみられた。良食味を得るための着粒数

28,000/m² 得るための幼穂形成期のN吸収量は、5~7g/m² で中心値は6g/m² であった。

6g/m² は、式②から地力指数に換算すると約1400とみられた。

この1400は、これ以上の地力指数では基肥を施用しなくても良いとされる限界値になると考えられる。

また、基肥3kg/10a施用できるほ場を「地力が中程度のほ場」と設定すれば、砂質土、黒ボク土、粘質土では

図7. 着粒数と登熟歩合

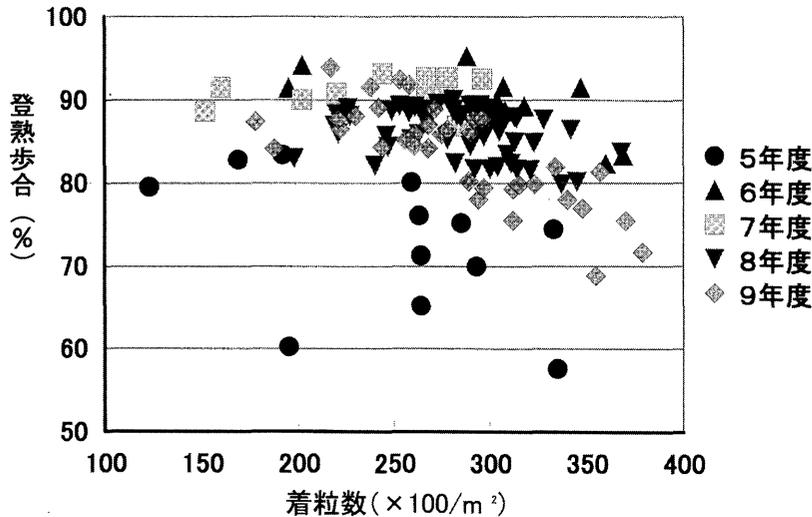


図8. 幼穂形成期のN吸収量と着粒数

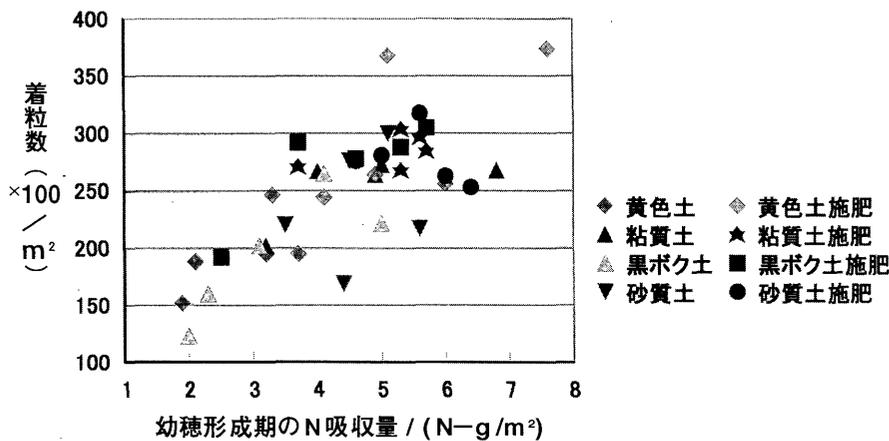


表1. 地力指数の基準

地力程度	地力指数
地力大 (基肥0, 早追で対応するのみ)	1400以上
地力中 (基肥3kg/10a程度施用可能)	砂質土, 黒ボク土, 粘質土1136~1400 黄色土では1100~1400
地力小 (基肥5kg/10a程度)	砂質土, 黒ボク土, 粘質土1136~960 黄色土1400~900
地力微小 (地力対策を積極的に行う必要がある)	砂質土, 黒ボク土, 粘質土960以下 黄色土900以下

1400 - 88 × 3 = 1136

黄色土では1400 - 100 × 3 = 1100

の数値がほ場の地力の判断基準となると考えられた。

また、基肥5kg/10a施用できるほ場を「地力が小」のほ場とすれば、砂質土、黒ボク土、粘質土では、

1400 - 88 × 6 = 960

黄色土では1400 - 100 × 5 = 900

以上、地力指数の判断基準をまとめると表1のようになる。

また、基肥の適正施肥量の設定においては、(1400-地力指数) / 基肥の葉色割合…⑥となる。

ここで判断された適正施肥量は、その年の積算気温から推定された地力指数及び基肥利用割合から求められたものであり、積算気温によって誤差が発生する可能性があり、基肥施肥量の堆定にあたってはこの点を留意する必要がある。

また、図3で検討したように、同じ土壌においても積算気温によって地力指数が大きく、変わる。

例えば、5月から7月中旬の積算気温が310℃くらいになると、粘質土や砂質土の地力指数が1400にもなり、幼穂形成期時点で水稻の窒素吸収は土壌から発現するものだけで十分であるということになり、穂肥はほとんど無施用で良いという判断になる。

このように地力の発現と水稻生育の気温に対する反応は、非常に大きく、良質米生産においてこの動きを的確に把握しておくことは欠くことができないことと思われる。この時、現場即時対応的な地力指数の把握は、重要な手段となってくる。

また、積算気温の把握も欠かすことができないものとみられた。

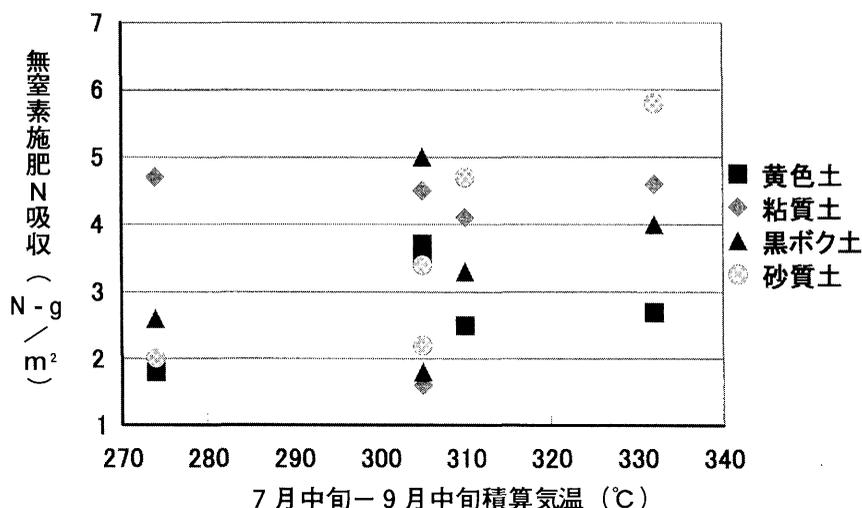
6. 気温と穂肥時地力（無施肥窒素吸収、幼穂形成期から収穫期）

次に基肥だけでなく、穂肥量設定のために、地力指数との関連を検討した。

穂肥量の決定のためには、水稻の幼穂形成期から収穫期までの地力窒素吸収量が重要になってくる（穂肥時地力として以下記述）。この地力窒素量を無施肥の窒素吸収量で求め、7月中旬～9月中旬までの積算気温との関係を検討した（図9）。

穂肥時地力は、土壌タイプにより発現量に差異があることがみられ、また、この傾向は7月中旬から9月中旬までの積算気温が増加するにつれて砂質土、黒ボク土では大きく、黄色土において小

図9. 幼穂形成期から収穫期の積算気温と地力（無窒素施肥N吸収）



さく増加することがみられた。しかし、粘質土では変化がみられなかった。

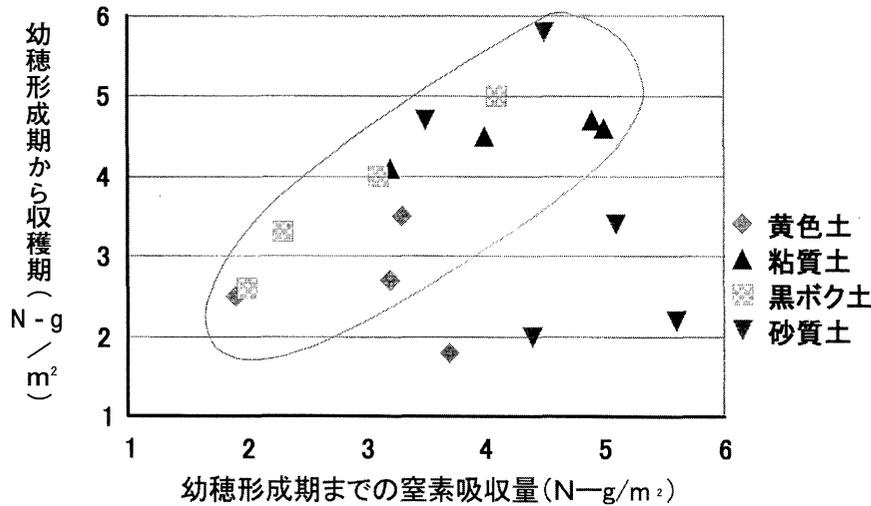
砂質土及び黒ボク土では、積算気温の小さな動きで（約270℃から330℃までの変動、変動幅60℃、積算気温の中心値300℃）地力発現量に大きな変化がみられた。

また、穂肥時地力の発現量は、幼穂形成期までの地力の発現と同じように、T-Nやインキュベーションによる地力窒素の無機化量とは、関係が小さかった。

このように、穂肥時地力の発現量の推定は大変困難であるということがわかった。

しかし、次に田植から幼穂形成期までの無窒素

図10. 幼穂形成期前後の窒素吸収量の関係



11g/m²の窒素吸収量が必要のようである。これについても土壌タイプや年次にかかわらず同じであった。

これから適正な穂肥量を決定するためには、
(11 - 幼穂形成期N吸収量 - 地力指数から求められる窒素吸収量) / 穂肥利用率 60%...⑦

この中で地力指数から求められる窒素吸収量としたのは、地力指数から推定できる田植から幼穂形成期までの窒素吸収量すなわち幼

施肥の窒素吸収量と幼穂形成期から収穫期までの無窒素施肥の窒素吸収量との関連をみるとある程度関係があることがみられた (図10)。

一部、幼穂形成期までの窒素吸収量と幼穂形成期から収穫期までの窒素吸収量とに関係がみられない事例があったが、線で囲まれた部分において幼穂形成期までと幼穂形成期以降の無窒素施肥の窒素吸収量は、土壌タイプにかかわらず、ほぼ同じ量であった。

穂肥時 (幼穂形成期から収穫期まで) の地力発現量は、実験的に精密に求められなければならないものである。

しかし、ほ場現場において、しかも、穂肥を施用しようとする時点において地力発現量を推定する時には、田植から幼穂形成期までの無窒素施肥の窒素吸収量からの推定は役立つものと思われた。

7. 収穫期の窒素吸収量と収量

収穫期の窒素吸収量と収量との関係を実肥が施用されていない平成8, 9年度のデータで検討した (図11)。

これによると600kg/10aの収量を確保するためには、

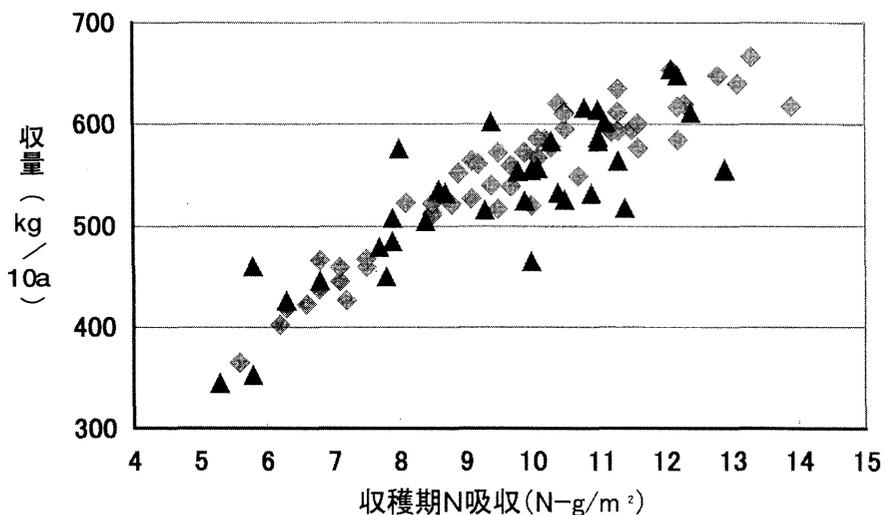
穂形成期から収穫期までの窒素吸収量のことである。これは、幼穂形成期までの土壌からのN吸収量と幼穂形成期から収穫期までの土壌からのN吸収量がほぼ同じであることから導いたものである。

穂肥利用率の60%は、重窒素を使用した別の分析結果から導き出された。

以上のことがらをとりまとめると次のようになる。

地力指数は、固定されたものではなく、その年における幼穂形成期までの水稻 (ここではコシヒカリで検討した) が土壌中から吸収した窒素吸収量を示す。ただし、窒素吸収量は化学分析をしな

図11. 収穫期N吸収と収量



ければ求められないため、現場で直接対応できて、窒素吸収量に相関が高いとみられる草丈×莖数×葉色の数値で表される。

地力指数は、窒素肥料を施用していないほ場の水稻の窒素吸収量を示す指数であるため、基肥を施用したほ場では、幼穂形成期の草丈×莖数×葉色の値（葉色指数）を測定し、基肥（早追は、その施用量の1/10とする）量と幼穂形成期までの積算気温から基肥施用による増加した葉色指数量を差し引いて求められる。

すなわち、その年における基肥の葉色割合及び基肥からの水稻の窒素吸収量は、積算気温から求められ、この数値は、県下共通のものであり、試験場等で決定し、発表されると便利である。

地力指数＝農家、現地ほ場での（莖数・草丈・葉色の判断）－（基肥量）×（試験場及び普及センター等による、積算気温から求められた基肥の葉色割合）

ここで、農家の莖数・草丈・葉色の判断は、現在もっと簡便的なものが研究されており、株周の計測や群落を光学的に計測する方法が開発されつつある。

地力指数は、その年の幼穂形成期までの積算気温が非常に関係しており、平年的な気温の地力指数は、幼穂形成期までの積算気温290℃のところであり、それに該当しない年の平年的な地力指数の推定には、第3図及び4図が役立つと思われる。

平年の積算気温における地力指数の基準は、表1のように計算された。また、この基準は、その年の基肥量が適当であったかの判断基準になると考えられた。すなわち、実際的水稻の現地ほ場対応において、目標とすべき窒素吸収量は、土壤タ

イプや気象にあまり関係なくほぼ一定と考えられるからである。

この地力指数をとりまとめるにあたってわかってきたのは、水稻の生育は、土壤タイプにあまり影響を受けなく、吸収した窒素量によって決定されるということであった。すなわち、適正な水稻の姿が設定されれば、土壤タイプにかかわらず適正な水稻窒素吸収量が決定される可能性があるということであった。また、基肥等の肥料からの水稻の窒素吸収量や土壤からの窒素吸収量があまりにも天候に影響を受けるということであった。

このため、窒素吸収量は、幼穂形成期までの水稻の生育量と積算気温で判断し、その後の穂肥で生育を調節する必要があるということであった。

このことは既往の技術として、すでに明確なことであるが、地力指数は、より正確な判断技術として手助けになりうると考えられた。

穂肥の施用量の設定にあたっては、穂肥施用時から収穫期までに土壤から水稻が吸収する窒素量を推定する必要がある。その量の推定にあたって、水稻が田植から幼穂形成期まで土壤から吸収してきた量とほぼ同じ量であり、穂肥量の設定にあたって役立つものと考えられた。

地力を利用した米作りは、無駄のない低コスト稲作、環境に優しい米作りの基礎である。この時、地力をどのように把握するかであるが、地力指数は、農家の現場即応的な技術として参考となりうると考えられた。

この「地力指数のすすめ」のとりまとめにあたって富山県農業技術センターの土壤肥料課をはじめ、多くの関係者のご協力とご指導をいただいた。このことに心から感謝する。