

平成 22 年 06 月 01 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007 ～ 2009

課題番号：19580296

研究課題名（和文）：分光反射特性を用いた水稻の高品質栽培管理技術支援法の開発

研究課題名（英文）：Development on supporting method of fertilizing management for high quality cultivation of paddy-rice using spectral reflectance of leaves

研究代表者

石黒 悦爾 (ISHIGURI ETSUJI)

鹿児島大学・農学部・教授

研究者番号：00041658

研究成果の概要（和文）：

分光反射特性を用いた水稻の高品質栽培管理技術支援法の開発を目的に、鹿児島県北部に位置するさつま町に散在する水田を対象として、生育期間中の気象条件を測定し、かつ生育調査ならびに分光反射特性を測定した。さらに、この分光反射特性の解析結果より、葉内窒素に関連する波長帯を特定し、この波長帯を用いた 2 波長カメラを試作し、圃場内の葉内窒素の分布を解析した。また、対象圃場の水稻の肥培管理履歴ならびに収量・等級等のデータを農家から提供を受けた。これらの結果、圃場の等級には以下の要因があることが明らかとなった。①各圃場の草たけ、分けつ数と LAI は、等級間において明確な差異は認められなかった。②水稻生育期間中の温度変化は生育初期・中期・後期でそれぞれの試験区で異なり、このことから、温度の影響を考慮した品質推定法の開発の可能性が示された。③圃場内の土中温度のばらつきは、1 等級品質圃場が 2・3 等級品質圃場に比べて少なかった。④SPAD 値は出穂期以降において等級品質間で差異が認められた。⑤ND<sub>770,660</sub> 指標は SPAD 値と高い相関を示した。ND<sub>770,660</sub> を画像に適応することで、圃場間の等級差が明確になる可能性を示した。⑥尖度・歪度は登熟期において 1 等級品質圃場の方が 2 等級品質圃場よりも低い値を示した。

以上の結果から生育期間内における等級品質の予測の可能性が示唆された。また、肥培条件と分光反射特性の関係を明らかにすることにより分光学的手法を用いた 1 等米比率向上のための肥培管理技術への適応の可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：

This study was carried out with aiming of developing on paddy rice management technology for high quality grain yield using the spectral reflectance of paddy rice leaves during cultivation period. Test sites were selected farmer's fields on Satsuma-town at the northern part of Kagoshima Prefecture. Climatic conditions, i.e. solar irradiance, temperatures of near leaves and soil in each paddy ricefield, were measured and recorded. Heights and number of stems the spectral reflectance were examined and measured on each point in each paddy rice field. It was certain that the wavelengths, 660 nm and 770 nm, were represented the chlorophyll content of paddy rice leaves. The new instrument, used the bandpass filters i.e., 660 nm and 770 nm, was test-manufactured. The data of fertilizers in paddy-rice cultivation and the yields and grades of carnal on each field were reported by each farmer.

This study clarified as follows. (1) Height, number of stems and leaf area index (LAI) were not regardless with carnal grade. (2) As the temperature of near leaves on each growing stage were differed

on each field, it was suggested that the temperature was affected with carnal grade. (3) The variation of soil temperature in first-grade field was smaller than that of other grade. (4) After the heading stage, SPAD values were differed with grade field. (5) As the values of index,  $ND_{770,660} = (R_{770} - R_{660}) / (R_{770} + R_{660})$ , showed the high correlation with SPAD values, pseudo image,  $ND_{770,660}$  image, adapted this index, showed the possibility of the clarity the grade fields. (6) The variation of the brightness in this pseudo image, calculated with histogram of this image, showed the result that low variation was at the first-degree carnal grade.

These results showed that the spectral reflectance of paddy rice leaves during cultivation period was effective for the developing on paddy rice management technology for high quality grain yield.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度			
2006年度			
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：リモートセンシング・環境調和型農林産業・地理情報システム・農林水産物・農業工学

### 1. 研究開始当初の背景

現在、鹿児島県内の農家では一等米の占める比率が低下するなどの問題を抱えている。これらの原因の一部には、地球温暖化による気温の上昇、とりわけ最低気温の上昇が考えられ、肥培管理技術がこれに対応できていないことが考えられる。葉内の窒素含有量は分光反射特性により非破壊・広域に推定できることから、葉内の窒素含有量の変動に及ぼす土壌温度、日射量等の気象条件と各圃場における施肥量ならびに施肥時期との関係を明らかにすると、適切な肥培管理支援法が確立するものと考えられる。

### 2. 研究の目的

鹿児島県北部のさつま町では有機米栽培等先進的な試みがなされているが、一等米の比率が低下している。気象環境変動に対応した高品質の水稲を栽培するため、田植え時期・施肥量ならびに施肥時期等の栽培管理技術を

構築するため、田植え時期・温度・日射量・栽培管理の情報をファクターとして、これらが生育中の水稲の生物物理量(草丈・分けつ数等)や葉色に及ぼす影響を測定する。

### 3. 研究の方法

#### 3-1. 対象圃場の選定ならびにトレーサビリティの取得

地形・標高・ならびに各農家の栽培技術等の観点、田植え日、施肥時期ならびにその量等のトレーサビリティ情報の提供の可能性等の要因を基に、さつま町の農家に実験目的の説明会を開催し、協力を要請する。

#### 3-2. 気象情報の取得ならびに生物物理量の測定

研究分担者の箱山晋教授を中心として、選定した水田に地温計を設置し、1時間毎の地温の変化を測定する。さらに生育期間における生物物理量を測定し、これらの関係を検討する。

### 3-3. 分光反射率の測定・分光画像の撮影・解析

研究代表者の石黒を中心として、研究室の大学院生等の協力の下に、各圃場における水稻の分光反射率の測定ならびにビデオカメラに装着したバンドパスフィルターによる分光画像を撮影する。分光反射率の結果から、各圃場における水稻葉内成分の推定ならびに分光画像より圃場内の水稻葉内成分の分布画像を作成する。

## 4. 研究成果

### 4-1. 草丈、分けつ数と LAI

草丈は DOY : 230 付近まで、直線的に上昇し、その後 100cm 程度で一定となった。DOY : 230 までは、2 年間とも一等米区が二等米区よりも幾分低い傾向がみられたが、ほとんど年次間の差異は見られなかった。

分けつ数は 2008 年度では、DOY : 210 付近で最高値となり、その後減少した。しかし、2009 年度は、DOY : 200 付近が最も値が高いものの、20(N/hill)で生育後期までほぼ一定であった。

分けつ数は、両年とも等級間に、明確な差異はなかった。また、2009 年は 2008 年に比べて全生育期間において分けつ数が少ない結果となった。

LAI は、2008 年度は、DOY : 240 付近まで上昇し、その後減少する傾向であった。しかし、2009 年度は、DOY : 240 以降 LAI=2 付近で一定値となる傾向にあった。また、2008 年度は、最大 LAI=5 付近であったのに対し、2009 年は LAI=2 であった。

### 4-2. SPAD 値の変化

SPAD 値は 2 年とも DOY : 240 以降徐々に低下していく傾向がみられた。2008 年度では、DOY : 210 以降、等級が高い方ほど SPAD 値が低い傾向にあることが確認された。2009 年度は等級の判定結果がでてないものの、全ての等級で、2008 年度と同様な傾向を示したことから、おおよそ 2008 年度と同様の等級になるものと考えられる。

しかし、2008 年度の 2 等米区と 2009 年度の 1 等米区では、DOY : 240 以降でほとんど同程度の SPAD 値であった。この結果は、SPAD 値を用いて等級を判定するためには、年次間の変動の影響を大きく受けてしまうことを示していると考えられる。

### 4-3. 分光反射特性

分光反射特性の経時変化の一例として、2008 年度の一等米区であった圃場の一例を Fig.1 に示す。分光反射特性曲線は可視域においては、生育期間中大きな差異は見られなかった。近赤外域では、初期生育段階には、40%~50%程度であったが、その後、DOY : 240 以降 80%程度まで上昇した。DOY : 260 以降は、再度近赤外の値は、40%程度となった。

### 4-4. ND<sub>770,660</sub> 指標と SPAD 値の関係

ND<sub>770,660</sub> 指標と SPAD 値の関係を Fig.2 に示す。ND 指標と SPAD 値は、両年とも、正の相関を示した。相関に関しては、ND<sub>770,660</sub> 指標がミクセルの問題を含有しているが、ある程度の推定が可能であると考えられる。

ND<sub>770,660</sub> 指標の経時変化を Fig.3 に示す。ND<sub>770,660</sub> 指標は、両年とも DOY:190 から DOY:210 付近まで上昇し、その後 DOY : 240 まで横ばいであった。DOY : 240 以降は、減少する傾向にあった。等級間では、3 等級圃場が全体的にやや高い傾向があるものの、ほぼ差異がない結果であった。

### 4-5. 分光画像

660nm および 770nm の画像の一例と ND<sub>770,660</sub> を画像に適用した結果を Fig.4 示す。画像には対象物である水田以外のものが写っている。そこで、画像を解析するには圃場の輪郭に沿って切り抜いた。切り抜いた画像の一例を Fig.5 に示す。

ND<sub>770,660</sub> を適用した画像(ND<sub>770,660</sub> 画像)から視覚的に水稻の等級品質を判断することができなかったため、画像のヒストグラムのみを見た。ヒストグラムの一例を Fig.6

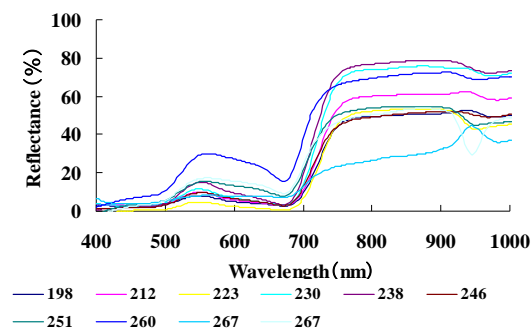


Fig.1 Example of changes of spectral reflectance during growing periods at some paddy rice field in 2009.

に示す。ヒストグラムは経時的に移動し形状も変化した。このND<sub>770,660</sub>画像のヒストグラムを統計的に処理した。ND<sub>770,660</sub>画像の最頻値(以下ピーク値)をFig.7に示す。等級品質ごとに、2007年度ではSPAD値の経時変化と同様に登熟期以降では収穫直前を除き1等級品質圃場のピーク値の方が2等級品質圃場のピーク値よりも高い値を示した。2008年度においてもSPAD値と同様に登熟期以降では1等級品質圃場のピーク値の方が2等級品質圃場のピーク値よりも低い値を示した。

2年間における等級品質別の尖度の経時変化をFig.8、歪度をFig.9に示す。2007年度では登熟期後期以降において、1等米圃場の尖度の方が2等米圃場の尖度よりも低い値を示した。これに対して2008年度では生育の早い段階で1等米圃場の尖度は2等米圃場の尖度よりも低い値を示した。尖度は圃場内の葉内窒素含有量のばらつきを示すため、1等米圃場の方が2等米圃場よりも葉内窒素含有量の量が均一ということを表している。また歪度は、正の方に大きいほどより右に裾が長いことをしめす。このため2等米圃場ではピーク値よりND値が高いものが1等米圃場よりも多く存在する

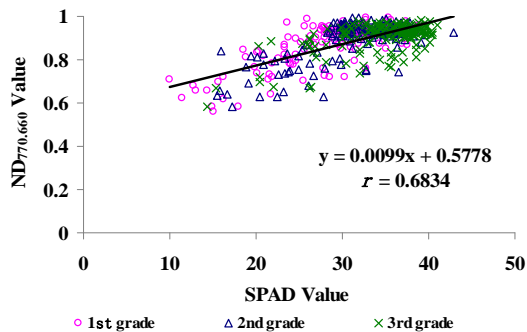


Fig.2 Relationship between the ND<sub>770,660</sub> and SPAD values during growing periods (2008 & 2009).

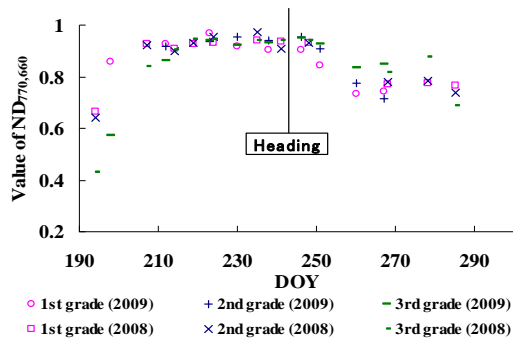


Fig.3 Changes of ND<sub>770,660</sub> during growing periods (2008 & 2009).

ということが示された。このため、生育期間内での等級品質の予測の可能性が示された。

#### 4.6. 土中温度の変動について

水稻の全生育期間での日平均土中温度の積算値(以下土中温度)の経時変化をFig.10に示す。土中温度は、2年間とも直線的に増加した。

水稻の全生育期間での日平均土中温度の積算値は、2年間とも直線的に増加した。

2009年度の土中温度のばらつきをCVを用いて2008年と比較した結果をTable 1に示す。2008年では、全生育期間のCVが小さいほど等級が高くなる傾向にあることが示された。

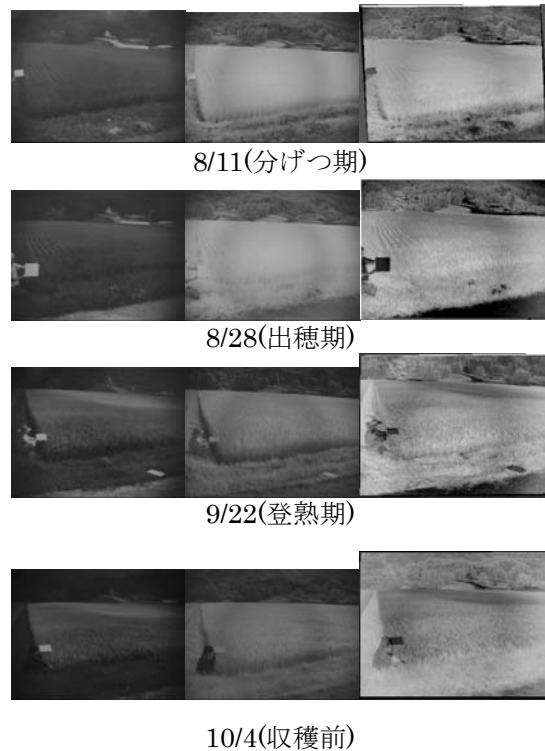


Fig.4 Examples of spectral images (660 nm & 770nm) and ND<sub>770,660</sub> on several growing stages.

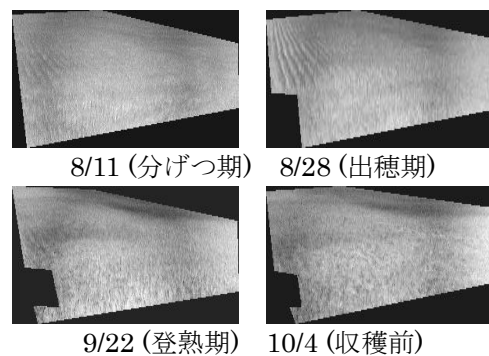


Fig.5 Examples of ND<sub>770,660</sub> analyzed images

次に CV の経時変化を Fig.12 に示す。圃場：田原では、他の圃場に比べて、生育初期から土中温度のばらつきが少ない。このことから土中温度のばらつきから等級を考えた場合、圃場：田原が一等米になる確率が最も高く、その他の区は、二等米以下である可能性が高いと考えられる。

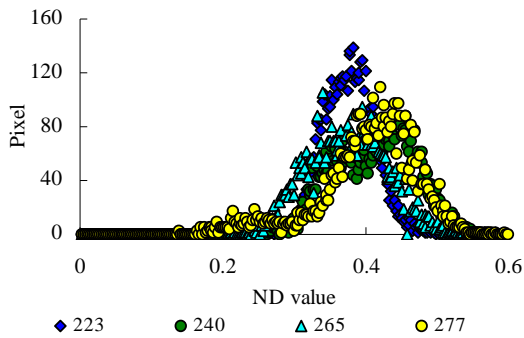


Fig.6 Changes of histogram on ND<sub>770,660</sub> images at one field.

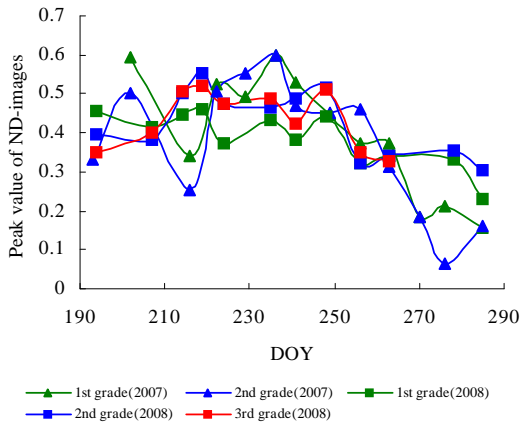


Fig.7 Changes of ND-values at a peak on the histogram for several kernel grade.

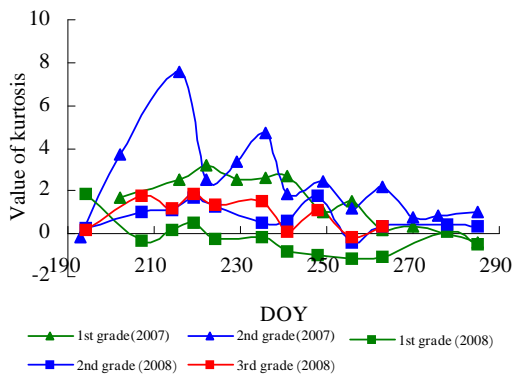


Fig.8 Changes of kurtosis of the histograms.

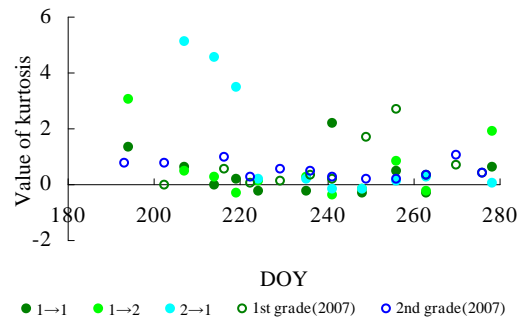


Fig.9. Changes of kurtosis

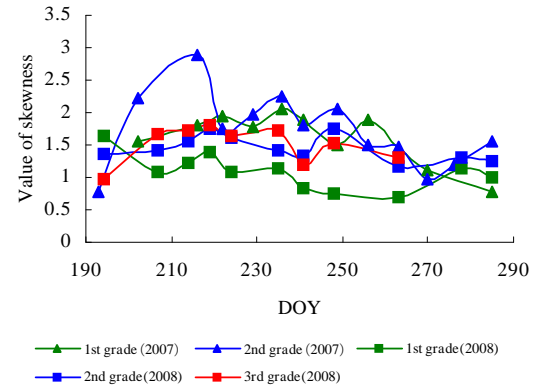


Fig.10 Changes of skewness of the histograms.

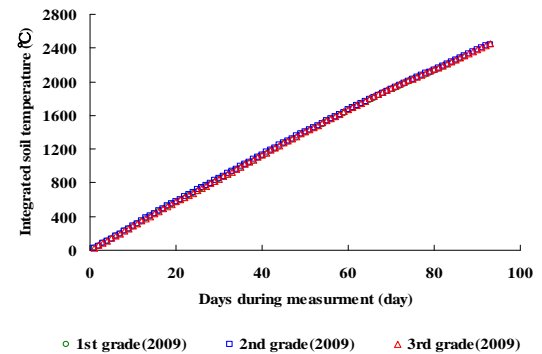


Fig.11 Changes of minimum temperature in daily on the height of paddy rice at each field.

Table 1 difference of average of CV at each grade.

Year	Grade quality	Name of agricultural field (The number of soil temperature thermometer)	All the growing period CV (%)	20days after heading CV (%)
2008	1	Nagono(4)	1.81	1.78
	1	Tabaru(4)	1.01	0.20
	2	Hirakawa(4)	1.98	4.81
	3	Kasiwabarū(4)	4.20	3.35
2009		Hirakawa(5)	3.49	3.62
		Kasiwabarū(6)	2.79	2.10
		Tabaru(6)	0.85	0.98
		Hirose(6)	2.29	2.47
		Nagano(5)	2.75	2.85



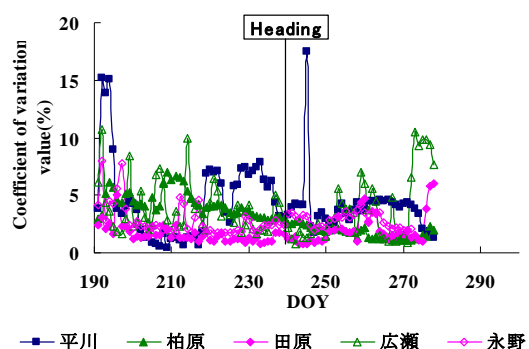


Fig.12 Changes of CV at each field during growing periods.

#### 4-7. まとめ

以上の結果、圃場の等級には以下の要因があることが明らかとなった。①各圃場の草たけ、分けつ数と LAI は、等級間において明確な差異は認められなかった。②水稻生育期間中の温度変化は生育初期・中期・後期でそれぞれの試験区で異なり、このことから、温度の影響を考慮した品質推定法の開発の可能性が示された。③圃場内の土中温度のばらつきは、1 等級品質圃場が 2・3 等級品質圃場に比べて少なかった。④SPAD 値は出穂期以降において等級品質間で差異が認められた。⑤ ND<sub>770,660</sub> 指標は SPAD 値と高い相関を示した。ND<sub>770,660</sub> を画像に適応することで、圃場間の等級差が明確になる可能性を示した。⑥登熟期における 1 等級品質圃場の尖度・歪度は 2 等級品質圃場よりも低い値を示した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. 宮崎 慧・石川 大太郎・迫田 航・箱山 晋・石黒 悦爾・平山 慎作・細川 直宏・井手之上 利弘・亀澤 広幸. リモートセンシング手法を用いた一等米比率向上に関する基礎的研究：圃場内の生育環境のばらつきが等級に与える影響九州の農業気象. **18** : 67-70 (2009/11)
2. 石川 大太郎・迫田 航・香川 裕樹・根木原 真二・箱山 晋・石黒 悦爾・平山 慎作・細川 直宏・井手之上 利弘・木原 成孝・北 敏美. 一等米比率向上に関する基

礎的研究-分光画像解析による等級変動推定手法の開発-. 九州の農業気象. **17** : 97-100 (2008/11)

[学会発表] (計 1 件)

1. 香川 裕樹・迫田 航・石川 大太郎・石黒 悦爾. 分光学的手法を用いたさつま町水田の肥培管理技術支援システム構築に関する基礎研究—環境要因が水稻の等級変動に及ぼす影響の解析—. 鹿児島リモートセンシングシンポジウム (2009/02/21)

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

石黒 悦爾 (ISHIGURI ETSUJI)

鹿児島大学・農学部・教授

研究者番号：00041658

(2) 研究分担者

箱山 晋 (HAKOYAMA SUSUMU)

鹿児島大学・農学部・教授

研究者番号：20091374