

ランドサット MSS データを用いた九州地方に おける水稲収量推定の試み

渡辺利通*

(1987年9月25日受理)

水稲の収量推定におけるリモートセンシング技術の利用の可能性について検討することを目的として、ランドサット MSS データを用いた福岡県、佐賀県の市町村別の水稲の10アール当たり収量の推定を試みた。その結果、MSS のバンドデータおよびそれらを組み合わせた合成変数を用いた重回帰分析により、重相関係数が0.6499の重回帰式がえられた。この推定式によりこれらの対象地域における10アール当たり収量の概略的な分布を推定することができた。しかし収量推定におけるリモートセンシングの実用的な利用についてはさらに研究の積み重ねが必要である。

目 次

1. 緒 論	21	謝 辞	29
2. データおよび方法	22	引用文献	29
3. 結果と考察	23	Summary	31
4. 摘 要	29	付 表	33

1. 緒 論

農業はその対象とする地域が極めて広いこと、常に情報を更新していく必要が有ることから、人工衛星等を用いたりリモートセンシングの農業への利用が世界中の農業関係者から注目され期待されており、多くの研究が精力的に進められている。なかでもアメリカにおいては、全世界の穀物生産量の予測と推定を行ない穀物生産計画に役立てようという試みが LACIE 計画 (NASA, 1978)、AgRISTARS 計画 (STROMMER, 1980) として大々的に研究され、一定の成果を得ている。

我が国においてもこれまでに何人かの研究者によってリモートセンシングの農業への利用技術の開発について研究が行なわれてきた。イネ関係についてみると、水稲の作付判別と作付面積の推定 (力丸, 1980, 芝山ら, 1981, 秋山ら, 1987), 生育量, 賦存量の推定 (棟方ら, 1982, 山形ら, 1986), 収量の推定 (渡辺, 1983, 鳥越ら, 1986), 気象災害の判定 (渡辺ら, 1978 a, 1978 b, 渡辺ら, 1981,

深山ら, 1981, 卜蔵ら, 1981, 1982, 植原ら, 1982, 深山ら, 1983, 山形ら, 1987) などについて報告されている。

これらの報告を見た場合、解析結果の推定精度が高い事例もあるが、いずれの報告においても、解析事例報告の段階にとどまっていて、実用的に使えるまでにはいたっていない。このことは、我が国のような耕地面積が狭小で一筆当たりの面積が狭く、かつ多くの作物が混在しているような場合のリモートセンシング利用の難しさと、研究事例の積み重ねが少ないことに起因していると考えられる。

本研究では、このような特徴を有している我が国における水田の判別の可能性と収量推定の可能性について検討するために、北九州地方 (主に福岡県、佐賀県) を対象としてランドサット (LANDSAT) を用いた解析を試みた。

なお本研究に用いたランドサット MSS データは科学技術庁より提供を受けたものである。

*環境管理部計測情報科 (現中国農業試験場作物部)

2. データおよび方法

テストエリアとして福岡県および佐賀県を中心とする九州北部を選定した。リモートセンシングデータとしてランドサット-2号により1979.10.9に観測されたMSSデータの「北九州シーン」(PATH 121-ROW 37)を用いた。観測時期はテストエリアにおける水稻の出穂後35日位であり、当時の作況はやや良であった。またグラントゥールズデータとして国土地理院発行の当該地域の5万分の1地形図および1979年度作物統計(農林水産省統計情報部, 1981)を用いた。

解析の手続きは次のようにすすめた。

(1) バンドデータとアール当たり収量との関係

水田に対応するMSSデータを得るために、5万分の1地形図より両県の各市町村毎に1~数か所の水田地帯を選び、各々の場所の緯度、経度を読み取った。抽出した場所は2県80市町村にわたり合計141箇所(福岡県41市町村81箇所、佐賀県39市町村60箇所)であった。

これら141箇所の緯度、経度をユニバーサル横メルカトール座標(UTM座標、国際横メルカトール座標、Gauss Kruger投影法ともいう)値に変換し(坪川ら, 1969)、さらにこのUTM座標値をランドサットMSSデータの中のチェックマーク情報を利用してランドサットMSS画像上のライン番号、ピクセル番号に変換し(向井, 1983)、各々の場所に相当する画素のバンドデータを

読み出した。

これら抽出した画素については、地目変更、転作、休耕等によって水稻が作付けされていない場所のデータの混入を避けるために、イメージディスプレイ上での目視および周辺画素との比較により確実に水田であることを確認した。

このようにして得られた各画素毎のMSSデータおよびこれらを組み合わせた合成変数と作物統計より得た各市町村毎の水稻の10アール当たり収量との間の関係を重回帰分析により検討した。計算はカリフォルニア大学で開発された医学・生物学用コンピュータープログラム(BMDP)の総当たり重回帰分析(P9R)を用いて行なった。

(2) 土地利用分類

ランドサットMSSデータのCCTより図-1に示したような佐賀、福岡両県を含む2048×2048画素(約143km×143km)を切り出し、最尤法を用いた教師付き分類法によって土地利用状況を7種類に分類した。また、土地利用状況の分類法について比較検討するために、教師なし分類法も試みた。

(3) 収量推定値の分布

教師付き分類により水田として分類された画素について、再度バンドデータを読み出し、重回帰分析によって得られた推定式を用いて各画素毎に10アール当たり収

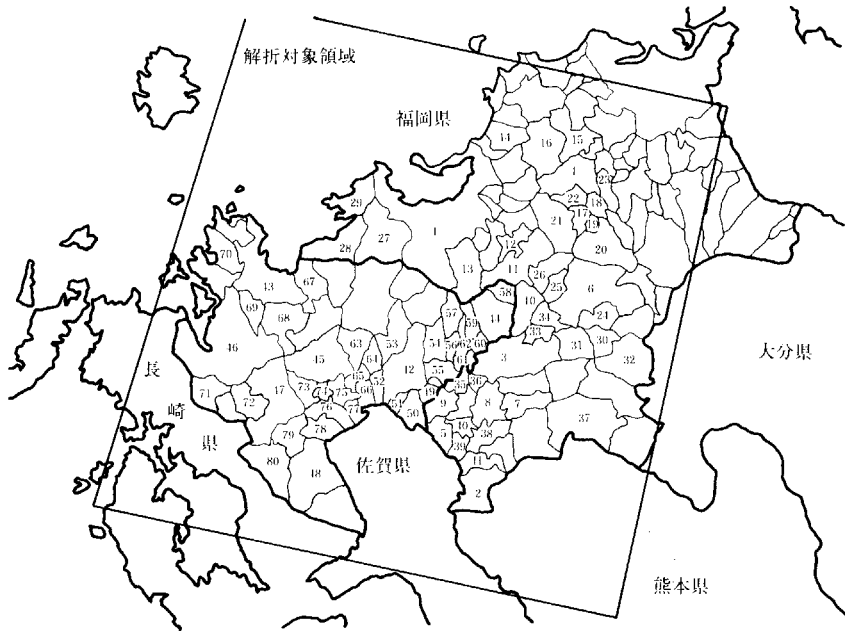


図-1 画像解析対象地域と市町村境界

量を推定した。

以上の解析は農業環境技術研究所の農業用リモートセンシング解析装置 (ARSAS) を用いて行なった。

3. 結果と考察

解析の対象とした場所は図-1 に示す範囲であり、解析に用いたランドサット MSS データによって作成した写真を写真1 に示した。

(1) バンドデータと 10 アール当たり収量との関係

解析に用いた 141 地点の市町村名, 10 アール当たり収量および各バンドデータは付表に示した。バンドデータおよび 10 アール当たり収量の間的相关係数を表-1 に示した。バンド間相関では可視光バンド間 (バンド 4 とバンド 5 の間) および近赤外光バンド間 (バンド 6 とバンド 7 の間) に極めて高い正の相関係数がみられた。これは SHIBAYAMA ら (1986) が登熟後期の水稲について測

定した反射スペクトルに見られるように、対象とする水稲の分光反射率が可視光であるバンド 4 とバンド 5 の波長帯で似ていることを示している。同様にバンド 6 とバンド 7 の波長帯における分光反射率も似ていることを示している。

10 アール当たり収量とバンド 4 とは相関関係がみられなかったが、バンド 5 と 10 アール当たり収量との間には負の有意な相関がみられ、バンド 6 およびバンド 7 と 10 アール当たり収量との間には正の有意な相関がみられた。

つぎに複数個のバンドデータの和, 差, 積, 比をとり, あるいは和や差の積や比をとる等, バンドデータを種々に組み合わせることで作成した 106 個の合成変数と 10 アール当たり収量との関係について検討した。有意な相関関係を有する合成変数がいくつか見られた。表-2 に相関係数の大きい順に 22 合成変数の相関係数を示した。

表-1 バンドデータの相互相関および 10 アール当たり収量の相関係数 (n=141)

	バンド 4	バンド 5	バンド 6	バンド 7	10 a 当り収量
バンド 4	1.000	0.800**	0.037	-0.166	-0.142
バンド 5	0.800**	1.000	-0.107	-0.310**	-0.332**
バンド 6	0.037	-0.107	1.000	0.903**	0.311**
バンド 7	-0.166	-0.310**	0.903**	1.000	0.325**

表-2 合成変数と 10 アール当たり収量との間の相関係数の例 (n=141)

合成変数 (バンドデータの組合せ)	相関係数
(バンド 6-バンド 5) ²	0.438**
(バンド 7-バンド 5) ²	0.426**
バンド 6/バンド 5	0.426**
(バンド 6/バンド 5) ^{0.5}	0.423**
{(バンド 5-バンド 6)/(バンド 5+バンド 6)+0.5} ^{0.5}	-0.419**
(バンド 6-バンド 5)/(バンド 5+バンド 6)	0.415**
(バンド 5/バンド 6) ^{0.5}	-0.413**
{(バンド 6-バンド 5)/(バンド 5+バンド 6)+0.5} ^{0.5}	0.411**
バンド 5/(バンド 4+バンド 5+バンド 6+バンド 7)	-0.409**
バンド 5/バンド 6	-0.404**
バンド 7/バンド 5	0.398**
{(バンド 5/(バンド 4+バンド 5+バンド 6+バンド 7)) ²	0.396**
{(バンド 5-バンド 7)/(バンド 5+バンド 7)} ^{0.5}	-0.386**
(バンド 7-バンド 5)/(バンド 7+バンド 5)	0.385**
(バンド 5) ² /(バンド 4+バンド 5+バンド 6+バンド 7)	-0.383**
バンド 5/バンド 4	-0.379**
バンド 6/(バンド 4+バンド 5+バンド 6+バンド 7)	0.379**
{バンド 6/(バンド 4+バンド 5+バンド 6+バンド 7)} ²	0.379**
{(バンド 4-バンド 5)/(バンド 4+バンド 5)} ^{0.5}	0.378**
(バンド 5-バンド 4)/(バンド 4+バンド 5)	-0.377**
{(バンド 7-バンド 5)/(バンド 7+バンド 5)} ^{0.5}	0.377**
{(バンド 5-バンド 4)/(バンド 5+バンド 4)} ^{0.5}	-0.375**

複数のバンドデータを同時に用いた場合の水稻の10アール当たり収量推定の可能性を検討するために、各バンドデータおよびこれらを組み合わせて得られた合成変数を用いて重回帰分析を行なった。独立変数としてバンドデータおよび合成変数の110変数、従属変数として10アール当たり収量を用いた。解析には水田として抽出した141組のデータ(付表)を用いた。変数選択は総当たり比較により、自由度調整済重相関係数が最大となるような変数組み合わせを探した。その結果次式のような重回帰式がえられた。

$$\begin{aligned} \hat{Y} = & -1377 - 0.3985 B 5^2 + 0.09327 B 6^2 \\ & + 0.6181 (B 7 - B 4)^2 + 0.4942 (B 7 - B 6)^2 \\ & + 2905 \{ (B 4 - B 6) / (B 4 + B 6) + 0.5 \}^{0.5} \\ & - 413.0 \{ (B 5 - B 6) / (B 5 + B 6) + 0.5 \}^{0.5} \\ & + 645.8 \{ (B 5 - B 7) / (B 5 + B 7) + 0.5 \}^{0.5} \\ & - 845700 / B 6^2 + 903600 / (B 7 \times B 4) \\ & - 511000 / B 7^2 \\ & + 33.20 (B 6 + B 5) / (B 6 - B 5) \\ & - 0.0541 (B 7 + B 6) / (B 7 - B 6) \\ & \dots\dots\dots \text{重回帰式 (1)} \end{aligned}$$

ここで \hat{Y} : 10アール当たり収量推定値
 B 4 : バンド 4 のバンドデータ

B 5 : バンド 5 のバンドデータ
 B 6 : バンド 6 のバンドデータ
 B 7 : バンド 7 のバンドデータ

このときの重相関係数(R)は0.6291(自由度調整済重相関係数 $R^* = 0.5823$)であり、10アール当たり収量の実測値と推定値との間の関係は図-2に示すようであった。図-2において全体としてはばらつきが大きい、詳細にみると福岡県の推定値は実測値よりも高めに推定されており、佐賀県では低めに推定されている傾向がうかがわれた。

そこで、福岡、佐賀両県の地域差について考慮するために県別コードを独立変数に導入して、前と同様に自由度調整済重相関係数を基準とした重回帰分析を行った。その結果、次式のような重回帰式がえられた。

$$\begin{aligned} \hat{Y} = & -1452 - 0.4187 B 5^2 + 0.09581 B 6^2 \\ & + 0.6096 (B 7 - B 4)^2 + 0.5928 (B 7 - B 6)^2 \\ & + 2989 \{ (B 4 - B 6) / (B 4 + B 6) + 0.5 \}^{0.5} \\ & - 338.6 \{ (B 5 - B 6) / (B 5 + B 6) + 0.5 \}^{0.5} \\ & + 543.7 \{ (B 5 - B 7) / (B 5 + B 7) + 0.5 \}^{0.5} \\ & - 918100 / B 6^2 + 978600 / (B 7 \times B 4) \\ & - 547600 / B 7^2 \\ & - 0.03791 (B 5 + B 4) / (B 5 - B 4) \end{aligned}$$

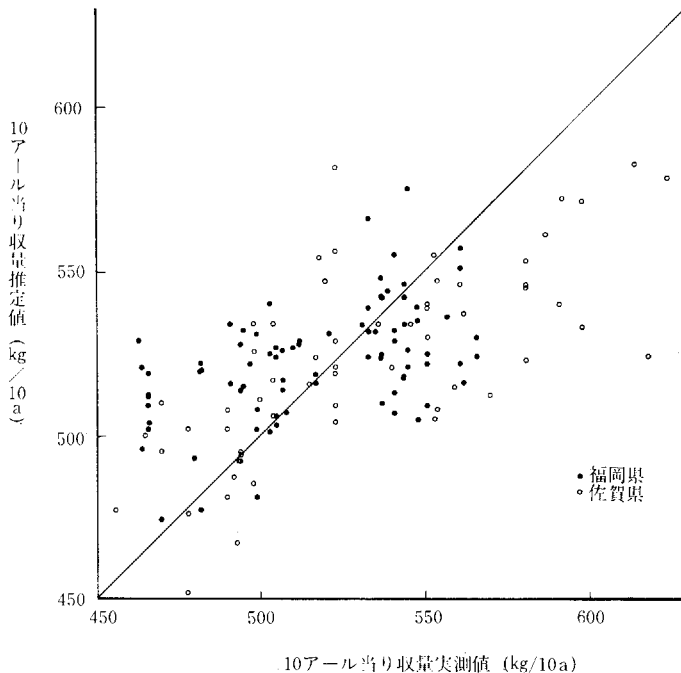


図-2 10アール当たり収量の実測値と重回帰式(1)による推定値との関係

$$+39.96(B6+B5)/(B6-B5) - 0.05823(B7+B6)/(B7-B6) + 13.38 X_{code}$$

……………重回帰式 (2)

ここで X_{code} : 県別コード(福岡=1, 佐賀=2)

その他は重回帰式 (1) の場合と同じ

このときの重相関係数 (R) は 0.6499 (自由度調整済重相関係数 $R^*=0.5985$) であり, 10 アール当たり収量の実測値と推定値との間の関係を図-3 に示した。新しく県別コードを導入することにより重相関係数が増加したが, その増え方は有意ではなかった。

これらの重回帰分析における分散分析の結果を表-3 に示した。いずれの場合にも回帰による効果は極めて有意であった。重回帰式 (2) は重回帰式 (1) に県別コードを追加して得られたものである。重相関係数に差がな

いということは福岡県と佐賀県との間に地域性の相違がないということを意味している。実際には両県の間には作付品種の構成に相違があり (福岡県の主要作付品種はニシホマレ (作付面積割合 27%), 日本晴 (同 26%), レイホウ (同 22%), あそみのり (同 13%) であり, 佐賀県の主要作付品種はレイホウ (同 61%), 日本晴 (同 26%) であった), また登熟期間の平均気温, 日照時間にも差があった。したがってテストエリア全体が比較的均一な条件にあるとは考えにくい。したがって, 県全体に間に差異があるというよりは, 平野別のような細分した地域性の違いの方が大きいのではないかと推測された。このことは平野別といったパラメータや標高のようなパラメータを導入して考えることにより推定精度が改善される可能性のあることを示唆している。

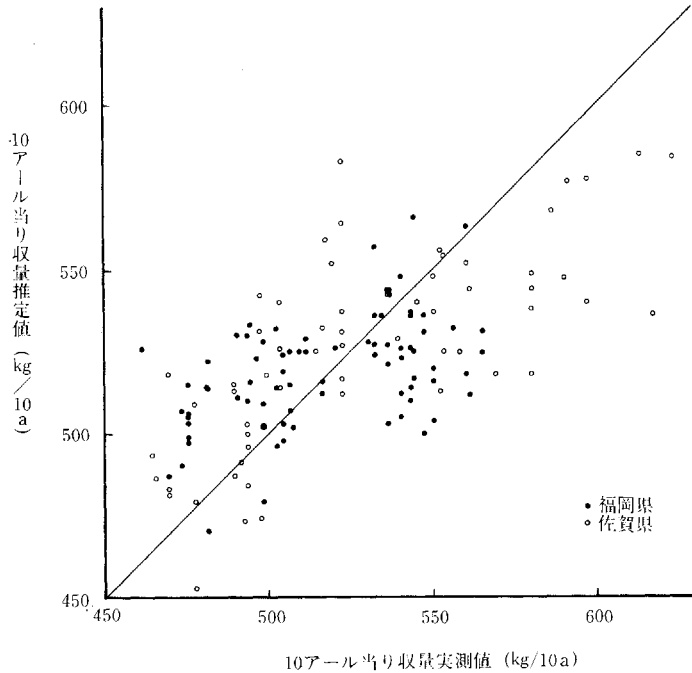


図-3 10 アール当たり収量の実測値と重回帰式 (2) による推定値との関係

表-3 重回帰分析分散分析表

要因	重回帰式 (1)				重回帰式 (2)			
	自由度	偏差平方和	分散	F 値	自由度	偏差平方和	分散	F 値
全体	140	186992.17			140	186992.17		
回帰	12	73993.32	6166.11	6.98**	14	78980.73	5641.48	6.58**
残差	128	112998.84	882.80		126	108011.44	857.23	

以上の結果から判断すると、本地域の1979年の場合にはバンドデータを種々に組み合わせることによって、大まかな10アール当たり収量ならば推定することが可能と思われた。さらに別途推定される市町村別の水田面積をこれに乗ずれば市町村別の水稻収量の推定も可能となろう。しかし実用的な観点からみると、この程度の推定精度ではまだまだ不十分であり、さらに解析方法、推定方法について検討する必要があると思われた。

渡辺ら(1981)は冷害の被害が大きかった1980年の北東北地方(主に秋田県、青森県)をテストエリアとして、ランドサットMSSデータと市町村別作況指数との間の関係を調べ、バンド4, 5, 6, 7の各々のバンドデータおよびそれらの間の比と作況指数との間には強い関係があり、これらを組み合わせた重回帰式によって重相関係数0.937という高い精度で作況指数の推定ができたことを報告している。また深山ら(1983)は同じ1980年の石狩平野の市町村別平均水稻収量とランドサットMSSデータおよびこれらの比演算(植生指数等)を用いた重回帰分析により、重相関係数0.91の重回帰式を得ている。これらの報告と本報の結果とは、水稻の収量の推定精度において大きく食い違っているが、この相違は対象とした地域および年度の違いによるものであろうと推測された。1980年は全国的に極めて大きな冷害の発生した年度であり(作況指数は北海道81, 青森47, 秋田99), 北海道, 北東北のいずれにおいてもテストエリアの中での水稻の生育の遅れが地域、圃場によって多様であった。また、その結果として目的とする作況指数、平均収量の変異巾も極めて大きかった。一方、本報で対象とした1979年は比較的豊作の年であり(作況指数は福岡106, 佐賀104), テストエリア内の水稻の生育は比較的揃っており、10アール当たり収量の変異巾(460~630 kg/10 a)も余り大きいものではなかった。渡辺ら(1981), 深山ら(1983)と本報告との推定精度の違いは、ひとつには前者のテストエリアには登熟後期に達したのから、生育が遅延して緑色のままのものまで含まれており、後者の場合はほぼ一様に登熟後期に達していたという生育時期の変異巾の違いによるものであろうと推測された。また、これらの結果としてのこの従属変数である作況指数、平均収量の変異巾の違いも、統計的手法の性質として推定精度の違いに反映されているのであろうと推測された。

しかし、いずれの場合にも、収量推定式の持つ生物的、作物的意味はそれ程明瞭ではなかった。また有効なバンドデータや変数の種類も全く異なっていた。これらのことから、それぞれの推定式によって対象とした年度の対

象とした地域における収量についての推定は可能であるにしても、同一推定式を他地域や他年度に適用して実用的に利用し得る程度に精度の高い収量推定を行なうことは困難であると予想される。

リモートセンシング技術の利用による収量推定の実用化のためには、さらに数多くの事例研究を積み重ねることによって、地域(県別、市町村別、地形的、土壌的地域など)、年度、気候、品種と作期、観測時期などによるパラメータの変化の法則性を明らかにし、共通の収量推定式を導出していく必要がある。また、複数の時期のデータを同時に利用することによる推定精度向上の可能性についても検討の価値があろう。

(2) 土地利用分類

リモートセンシングによって水田地帯の抽出の可能性を検討するために、ランドサットMSSデータを用いたテストエリアの土地利用分類を最尤法によって試みた。

分類カテゴリーとして、水田(農耕地)、沖合いの海(海1)、沿海(海2)、河川、人工構造物(市街地、道路等)、山(陽地)、日陰の山(陰地)の7カテゴリーを設定し、トレーニングエリアを各カテゴリーについて3~4箇所指定した。

分類の結果、トレーニングエリアの判別効率率は表4に示すように山(陽地、陰地)を除いてかなり高いものであった。ここで農耕地は水田地帯をトレーニングエリアとしたが、部分的には休耕地、刈取り終了田、道路等を含んでいるようであり、これらは人工構造物と判別された。また山の陽地と陰地間の判別が良くなかったが、これはトレーニングエリアの設定において両地域が入り組んでいることから明確に区分けできず、お互いに他を含んで設定されたことによるものであろう。川の判別効率がやや悪いのはトレーニングエリアの設定において水の無い川原(人工構造物と判別)や河口近く(海と判別)を含んでいたためであろう。テストエリア全体の分類結果は写真2に示した。分類結果をカテゴリー別の分布から判断すると、おおむねうまく分類されているようであった。

分類結果を用いて、単位画素当たりの地表での面積を分類カテゴリー毎に画素数に乗ずることにより、分類カテゴリー毎の面積を推定することが出来る。さらに、市町村境界と重ね合わせることにより、市町村別の面積の推定も可能となる。しかし、個々の画素の土地利用状況についての検証がまだ終わっていないので、ランドサットMSSデータによってどれだけ正確な土地利用分類ができ、どの位の精度で面積推定が可能であるかについて

表-4 最尤法による教師付き分類によるトレーニングエリアの分類効率

トレーニング エリア	分 類 結 果							
	農耕地	海(1)	海(2)	川	人工構造物	山(陽地)	山(陰地)	分類不能
農耕地* ¹	97.3	0.0	0.0	0.0	0.6	1.2	0.0	0.9
海(1)* ²	0.0	98.4	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.1
海(2)* ³	0.0	0.0	99.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1
川	0.0	5.8	0.0	90.7	2.2	0.9	0.4	0.0
人工構造物* ⁴	0.2	0.0	0.0	0.0	97.1	0.6	0.1	2.0
山(陽地)* ⁵	3.0	0.0	0.0	0.0	0.1	65.9	30.4	0.6
山(陰地)* ⁶	1.2	0.0	0.0	0.0	0.2	17.5	81.2	0.0

*¹: 水田*²: 外海*³: 沿岸の汚れた海*⁴: 市街地, 道路, 堤防等*⁵: 日の当たっている山地*⁶: 日陰になっている山地

結論を出すに至っていない。

教師付き分類において分類精度を高めるためには、トレーニングエリアをいかにうまく指定するかが重要である。本研究においては、地上分解能が57 m×57 mであるランドサット MSS データを用いたことから、慎重にトレーニングエリアを指定したにもかかわらず、トレーニングエリア内に本来の目的とするカテゴリーの画素以外に、他のカテゴリーが混合して存在する異質な画素を含んでいる場合が見られた。我が国のように耕地面積が狭小で一筆当たりの面積が狭く、かつ多くの作物が混在して作付されている場合には、30 アール以上の面積が同一の作物のみで覆われていることは少なく、画素単位で確認しつつトレーニングエリアを指定しない限り、分類カテゴリーのみで構成されたトレーニングエリアを指定することは困難であろうと思われる。この問題を回避するひとつの手法として、トレーニングエリア自身を分類し、本来の目的とするカテゴリーに属する画素のみを取り出した上で、それらの画素をトレーニングデータとしてテストエリアを分類することが考えられる。これにより、判別効率、分類精度をより一層向上させようであろうと推測される。

同時に、水田の判別にトレーニングエリアが必要か否かを検討するために、同じテストエリアについてランドサット MSS データを用いた教師なし分類の適用を試みた。初期クラス数を10に設定し収束判定のための安定度を90.0%、クラス統合の判定値を1.0としてユークリッド距離法により収束するまで分類と、クラスの統合を繰り返した。

その結果7カテゴリーに分類された。各カテゴリーの

分布およびバンド値の平均より判断して表-5に示すような分類カテゴリーを得た。表-5には比較のために、教師付き分類の結果のカテゴリー別のバンド値の平均値を教師なし分類のカテゴリーと対応させて示した。最尤法による教師付き分類の分類結果と異なる点は水系(海, 川)が1カテゴリーとなったこと、人工構造物が市街地・道路等とその周辺部の2カテゴリーに分割されたこと、山(陽地)が山(陽地)とその周辺部の2カテゴリーに分割されたことであった。これは手法の特性として、最尤法による教師付き分類の場合にはトレーニングエリアの統計的性質によってその分類カテゴリーのバンド値の分布特性が規定されるのに対して、教師なし分類の場合には分類カテゴリー間の分散が最大になり、分類カテゴリー内の分散は最小になるように分類カテゴリーが形成されるということによるものと思われる。

分類結果は写真3に示すようであり、各分類カテゴリーの分布は教師付き分類による結果(写真2)とよく似ていた。個々の画素毎の異同について検討を加えていないので確かなことはいえないが、水田の判別のみを目的とする場合には、教師なし分類を利用する方が効率が高い可能性のあることを示した。この点については、各分類結果および実際の土地利用状況について、画素毎の詳細な比較検討を行なうことにより、分類手法の評価を行なう必要がある。

今後、多くの解析事例を積み上げることにより、分類目的、適用場面、所与の条件に応じた分類手法の使い分けの基準を整理しておく必要がある。また、対象地域の利用に耐え得る観測データが入手可能ならば、複数時期のデータを利用することも有効であろうと思われる。

表-5 最尤法による教師付き分類と教師なし分類の分類結果のカテゴリー別、バンド別平均値の比較

分類カテゴリー	最尤法による教師付き分類				教師なし分類*1			
	バンド4	バンド5	バンド6	バンド7	バンド4	バンド5	バンド6	バンド7
農耕地	23.8	19.8	44.7	41.1	26.0	22.9	46.0	41.9
海(1)	14.7	7.1	3.3	2.5	16.6	9.2	5.1	3.6
海(2)	22.4	17.4	10.5	4.6				
川	17.8	11.3	11.0	7.4				
人工構造物	26.0	22.7	24.6	19.0				
山(陽地)	16.7	11.5	36.0	38.6	23.8	19.6	24.1	19.9
					24.3	21.2	34.2	30.5*2
					15.9	10.5	29.8	30.7
山(陰地)	14.5	9.2	26.0	27.4	18.2	13.3	38.3	39.6*3
					14.0	8.6	20.8	21.2

*1: 教師なし分類のカテゴリーは分類結果の分布より判定した

*2: 市街地周辺部

*3: 山地周辺部

(3) 収量推定値の分布

テストエリア内における水稻の収量水準の分布を明らかにするために、土地利用分類によって農耕地と判定された画素について、10アール当たり収量を計算した。教師付き分類により農耕地と分類された各画素毎のバンドデータを重回帰式(1)に代入することによって、画素毎の10アール当たり収量を推定し、その分布を写真4に示した。

理論上は、上記のようにして得られた10アール当たり収量の分布を、市町村境界により分けし、それぞれについて積算することにより、市町村別の水稻収穫量を推定することが可能となる。この場合、収穫量の精度は水田の判別精度および10アール当たり収量の推定精度によって左右される。

しかし、このような試みはランドサットMSSデータを用いて行なう限り、現段階ではかなり困難であると言わざるを得ない。

ひとつは地上分解能の制約からくる問題である。我が国の水田は狭小であり、かつ周辺は畑、住宅地や林地、山などと入り組んでいる。ランドサットMSSの地上分解能では純粋に水田のみではなく、1画素中に水田以外の部分を含んだ画素がかなり多くならざるを得ない。このため、水田の判別および水稻作付面積の推定に関しては、水田周辺部の判別には必然的に誤差を伴わざるを得ない。また、そのような画素のバンドデータは水稻のみの画素の場合とは異なっており、バンドデータから収量を推定しようとする場合には誤差の原因となる。

他は観測波長域に由来する問題である。SHIBAYAMAら(1986)は粗粒収量の推定に580, 620, 840および1260

nmの波長の反射率が有効であると報告している。しかし、ランドサットの各バンドの波長幅は100nmと広く、また最も有効とされた1260nmの波長は観測していない。このことから10アール当たり収量の精度の高い(実用に耐えうる)推定は現在のMSSの測定する波長域と波長幅では困難であろうと推測された。

したがって、ランドサットMSSを利用した水稻の収穫量の推定を行なうとすれば、次のような手だてを検討してみる価値があろう。すなわち、リモートセンシングを直接利用するのはLACIE計画のように面積推定のみ、それも水田地帯の中央部のみに限定し、周辺部については直接調査するようにする。10アール当たりの収量は、LACIE計画のように気象要因等環境パラメータを使って推定するか、あるいは、代表的な場所について直接刈り取って調査するようにする。この場合、精度と効率の兼ね合いが問題となろう。

ランドサット4号以降に搭載されているTMは観測バンド数が7バンドと増やされており、また、地上分解能も30m×30mと改善されている。このTMデータを利用することにより、推定精度が向上することも期待される。

さらに、生育予測、生育診断的立場からの収量関連のリモートセンシング技術の利用が考えられる。ランドサット等人工衛星から地上の水稻の生育状況を判定し、その後の適正な管理技術の選択に反映させるというものである。そのためには生育の早い時期から、人工衛星のデータを用いて、将来の生育および収量を推定する技術が必要となる。これらは今後、重要な利用分野となると思われる。

4. 摘要

(1) ランドサット MSS データを用いて福岡県、佐賀県の市町村別の水稲の 10 アール当たり収量の推定を試みた。141 個所の水田地帯を 5 万分の 1 地形図より抽出し、緯度、経度を読み取った。緯度、経度より UTM 座標、UTM 座標よりランドサット MSS データ上のライン番号、ピクセル番号に変換し、141 個所の水田に相当する各画素のバンドデータを読み取った。バンドデータおよびそれらを組み合わせた合成変数を独立変数とし、10 アール当たり収量を従属変数として重回帰分析を行ない、自由度調整済重相関係数を基準にして重回帰式を求めた。その結果、重相関係数 $R=0.6499$ の重回帰式が得られた。これにより、1979 年の福岡、佐賀両県についてはランドサット MSS データを用いることによって、10 アール当たり収量の概略の推定が可能であった。しかし、実用的に利用できる精度は得られなかった。今後さらに数多くの解析事例を蓄積し、パラメータの変化の法則性、共通の推定式の導出等について明らかにしていく必要がある。

(2) 水稲作付面積推定のために、同一ランドサット MSS データを用いて水田の判別を試みた。その結果、適当なトレーニングエリアを指定することにより教師付き分類手法を用いてかなりよく判別できることがわかった。また、教師なし分類による判別結果と教師付き分類による判別結果とは、分類カテゴリーの分布がよく似ていた。

謝 辞

本研究の発端を与えられた農業技術研究所棟方研作況調査研究室長(現東北農業試験場農業技術部長)、研究遂行上有益な助言と励ましを頂いた堀江正樹計測情報科長(現四国農業試験場土地利用部長) および隔測研究室室員諸氏に感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 秋山侃, 山形与志樹, 芝山道郎(1987): 航空機 MSS による作物生育情報の判読——農家圃場における作目判別——. 日作紀, 56 (別 1), 196~197
- 2) 卜蔵建治, 山下洋, 鈴木哲夫(1981): 静止気象衛星「ひまわり」のデータによる冷害気象の研究 1. 昭和 54 年青森県下に発生した水稲障害型冷害時への適用例. 農業気象, 37, 47~52
- 3) ——, ——, ——(1982): —— 2. 昭和 55 年東北地方に発生した冷害時への適用例. 農業気象, 37, 309~315
- 4) 深山一弥, 安田嘉純(1981): ランドサットデータ利用による水稲冷害調査に関する研究. 日本写真測量学会昭和 56 年度秋期学術講演会講演要旨集, 29~32
- 5) ——ら(1983): 農用地調査へのリモートセンシング技術の適用性に関する研究——ランドサット MSS データを用いた水稲冷害分布の調査法——. 農土論集, 105, 27~35
- 6) 棟方研ら(1982): 耕地におけるバイオマス資源の航空計測手法の開発 第 1 報 乾物重, クロロフィル含量推定の試み. 日作紀, 57 (別 1), 167~168
- 7) NASA (1978): Proceeding Plenary Session, The LACIE Symposium. p. 1~131 NASA, Texas
- 8) 農林水産省統計情報部(1981): 昭和 54 年作物統計, 第 1 版, p. 470~471. 農林統計協会, 東京
- 9) 力丸忠(1980): リモートセンシングによる面積調査近代化のための研究調査結果. 農林統計研究, 14, 7~17
- 10) 芝山道郎, 渡辺利通, 棟方研(1981): ランドサットデータによる農作物広域作況予測手法の開発 第 1 報 水稲作付エリアの推定の試み. 日作紀, 50 (別 2), 227~228
- 11) SHIBAYAMA, M. and K. MUNAKATA (1986): A spectroradiometer for field use. IV. Radiometric prediction of grain yields. Japan. Jour. Crop Sci., 55, 53~59
- 12) STROMMER, N. D. (1980): AgRISTARS. Environmental and Information Service. 11 (4), 9~11
- 13) 田中総太郎, 狩野弘昭, 菅雄三(1976): 2 万 5 千分の 1 LANDSAT Map への実験的研究. 写真測量とリモートセンシング, 15 (3), 17~25
- 14) 鳥越洋一, 山形与志樹, 秋山侃(1986): 航空機 MSS による作物生育情報の判読 (4) 農家圃場における水稲の出穂期並びに収量予測. 日作紀, 55 (別 2), 161~162
- 15) 坪川家垣, 大森又吉(1969): 測地学序説. 第 1 版, p. 16~25, 202~208, 山海堂, 東京
- 16) 植原茂次ら(1982): ランドサット MSS データからの洪水はん濫による水稲被災区域の検出. 日本リモートセンシング学会第 2 回学術講演会論文集, 183~186
- 17) 渡辺潔, 村山康彦(1978 a): リモートセンシングによる有明海沿岸の水稲塩害の解析. 佐大農叢, 45, 101~110

- 18) ——, ——(1978 b) : リモートセンシングによる佐賀市周辺の水稲病害の解析. 佐大農彙, 45, 133~137
- 19) 渡辺利通, 芝山道郎, 棟方研(1981) : ランドサットデータによる農作物広域作況予測手法の開発 第2報 1980年度冷害程度の推定. 日作紀, 50 (別2), 229~230
- 20) ——(1983) : 農業用リモートセンシング解析装置とその利用例. 日作紀, 52 (別2), 116~117
- 21) 山形与志樹, 芝山道郎, 秋山侃(1986) : 係留気球による作物生育計測手法の開発 第2報 カラー写真を利用した水稲生育量の推定. 日作紀, 55 (別1), 184~185
- 22) ——, 秋山侃, 芝山道郎(1987) : 人工衛星データによる洪水被害の把握——茨城沼周辺の水稲被害——. 日作紀, 56 (別1), 198~199

Estimation of Rice Yield Using LANDSAT MSS Data in Kyushu District

Toshimichi WATANABE*

Summary

Author examined to estimate the rice yield per unit area and to classify paddy field from LANDSAT MSS data using ARSAS. Tested area was Fukuoka and Saga prefectures, and data used were LANDSAT MSS data (1979. 10. 9, path 121-row37, "Kitakyusyu" scene), 1/50000 map and Crop Statistics of 1979.

(1) 141 fields cultivating rice crop were extracted from 1/50000 maps. Longitude and latitude of these points was translated to line and pixel number on LANDSAT MSS image data through the UTM coordinate system. Then MSS band data of any points were read and analyzed by multiple regression analysis using yield per 10 ares as the dependent variable and MSS band data and 106 variables composed of some band data as independent variables. From multiple regression analysis, it was shown that yield per 10 ares could be roughly estimated from some composite variables with band data. At this case multiple correlation coefficient (R) was 0.6499. But it was suggested that actual application of remote sensing to yield estimation on other years or regions was difficult, because this equation had low contributing rate to explain the variation of yield per 10 ares and biological or agricultural sense of this equation were not definite. Therefore more studies over years, regions, cultivars or seasons are necessary for more accurate estimation of yield of rice crop.

(2) Paddy field area was distinguished by supervised classification method using maximum likelihood criterion from same data. It was shown that paddy field was distinguished from other categories as mountains, water or urban by setting suitable training areas. Using same data, unsupervised classification method got the similar categorical distribution.

*National Institute of Agro-Environmental Sciences. Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan
(Present address : Chugoku Agricultural Experiment Station. Nishifukatsu, Fukuyama, Hiroshima, 721 Japan)

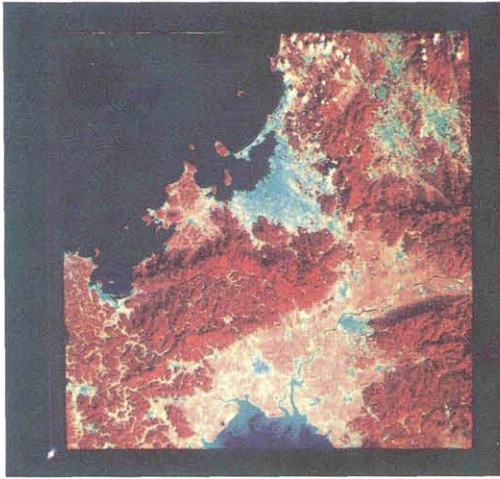
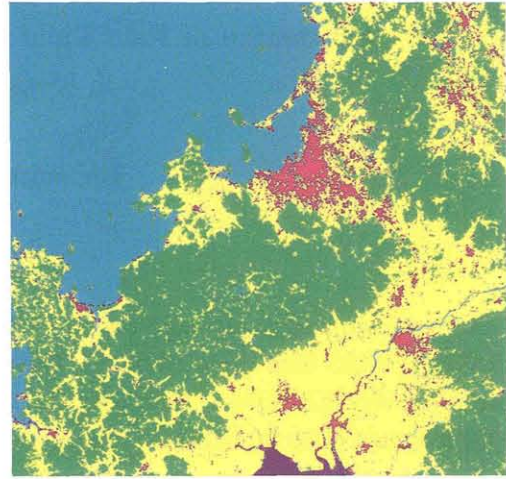


写真1 解析に用いた LANDSAT MSS データによる
カラー合成写真
1979.10.9 観測, 北九州 シーン
(Path 121-Row 37)










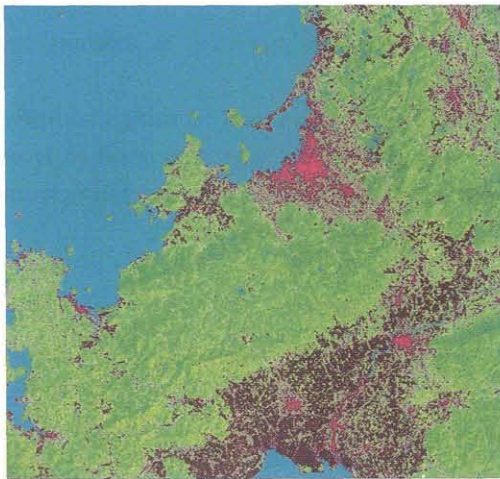
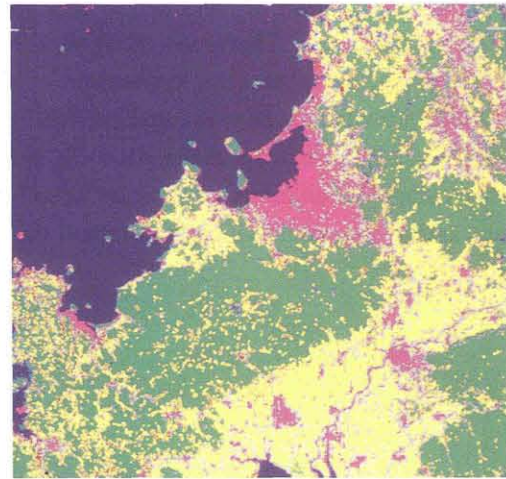
- | | |
|---|---|
|  農耕地 |  人工構造物 |
|  海 (1) |  山 (陽地) |
|  海 (2) |  山 (陰地) |
|  川 | |

写真2 教師付分類 (最尤法) によるテストエリアの分類結果



- | | |
|---|--|
|  農耕地 |  山 (陽地) |
|  水系 |  山地周辺部 |
|  人工構造物 |  山 (陰地) |
|  市街地周辺 | |

写真3 教師なし分類によるテストエリアの分類結果



- | | |
|--|---|
| 農耕地収量区分 | その他の土地利用 |
|  多収 |  山地 |
|  中収 |  市街地, 道路等 |
|  少収 |  水系 |

写真4 テストエリア内の水稻の10アール当り収量推定値の分布

付 表 市町村毎の水稲の10アール当たり収量とLANDSATのバンドデータ

県名	番号	市町村名	地点番号	作付面積 (ha)	10アール当たり収量 (kg/10 a)	バンドデータ			
						バンド4	バンド5	バンド6	バンド7
福岡県	1.	福岡市	1	2780	466	24	20	43	39
			2		466	24	21	39	37
			3		466	27	24	39	33
			4		466	24	21	37	34
			5		466	24	22	45	42
			6		466	25	22	45	41
	2.	大牟田市	1	924	464	24	19	41	37
			2		464	24	20	36	34
	3.	久留米市	1	2960	541	22	21	42	40
			2		541	24	20	49	43
			3		541	23	21	39	37
			4		541	24	20	47	44
			5		541	24	19	50	47
	4.	飯塚市	1	704	505	24	22	40	36
			2		505	23	18	43	40
	5.	柳川市	1	1720	551	24	22	44	41
			2		551	24	21	45	43
			3		551	24	20	47	42
	6.	甘木市	1	2230	537	21	20	38	35
			2		537	22	19	44	36
			3		537	23	21	47	43
			4		537	26	23	47	42
	7.	八女市	1	1100	531	24	19	47	43
8.	筑後市	1	1610	544	23	18	49	45	
		2		544	24	19	41	38	
		3		544	25	21	54	47	
9.	大川市	1	1360	562	24	20	40	36	
10.	小郡市	1	1710	537	24	18	48	45	
		2		537	22	19	46	43	
11.	筑紫野市	1	995	507	30	26	50	41	
		2		507	21	17	45	41	
		3		507	21	18	47	42	
12.	太宰府町	1	250	497	21	17	36	34	
13.	那珂川町	1	375	482	26	23	32	29	
		2		482	21	19	43	41	
14.	古賀町	1	429	491	23	18	47	43	
		2		491	23	21	47	43	
15.	宮田町	1	545	505	24	20	46	41	
		2		505	24	23	51	44	
16.	若宮町	1	939	503	26	21	50	45	
		2		503	28	25	50	47	
		3		503	25	23	43	39	
17.	桂川町	1	372	510	22	18	47	41	
18.	稲築町	1	281	521	24	19	46	42	
19.	碓井町	1	219	512	22	18	45	42	
20.	嘉穂町	1	910	494	21	18	49	44	
		2		494	21	18	39	36	
21.	筑穂町	1	578	482	25	20	43	40	
22.	穂波町	1	481	516	23	18	42	40	
23.	庄内町	1	264	508	24	23	44	42	

付表 市町村毎の水稲の10アール当たり収量とLANDSATのバンドデータ(つづき)

県名	番号	市町村名	地点番号	作付面積 (ha)	10アール当たり収量 (kg/10a)	バンドデータ			
						バンド4	バンド5	バンド6	バンド7
佐賀県	24.	朝倉町	1	956	566	21	18	38	36
			2		566	21	17	42	41
	25.	三輪町	1	846	517	22	20	47	43
			2		517	23	20	46	41
	26.	夜須町	1	1310	545	20	17	47	46
			2		545	22	20	47	44
	27.	前原町	1	2110	499	21	16	43	43
			2		499	20	18	46	42
			3		499	22	18	47	44
			4		499	24	23	32	28
	28.	二丈町	1	656	495	21	16	50	49
			2		495	21	17	43	44
	29.	志摩町	1	720	470	22	18	45	45
	30.	吉井町	1	870	533	22	18	42	39
			2		533	22	16	46	43
	31.	田主丸町	1	1360	535	20	16	39	37
	32.	浮羽町	1	761	512	21	16	44	42
	33.	北野町	1	1080	561	24	20	41	36
			2		561	22	18	50	48
	34.	大刀洗町	1	1170	544	25	21	50	45
			2		544	26	23	47	44
	35.	城島町	1	785	561	28	27	35	27
	36.	三潞町	1	831	539	23	17	48	43
	37.	黒木町	1	770	463	23	18	42	41
	38.	瀬高町	1	1420	548	23	19	44	43
			2		548	22	20	52	45
			3		548	24	21	36	29
	39.	大和町	1	1190	545	25	20	51	49
	40.	三橋町	1	852	557	24	18	46	41
	41.	高田町	1	1390	533	25	20	50	48
			2		533	23	19	45	43
	42.	佐賀市	1	3990	581	21	18	46	47
			2		581	22	17	48	47
			3		581	25	20	43	38
			4		581	26	20	50	43
	43.	唐津市	1	1370	494	23	21	46	46
			2		494	25	22	38	37
			3		494	29	26	37	34
			4		494	27	27	40	34
	44.	鳥栖市	1	1680	523	24	21	50	42
			2		523	24	21	45	42
			3		523	22	19	49	48
			4		523	25	19	54	49
	45.	多久市	1	1070	498	24	19	47	43
			2		498	26	26	39	36
			3		498	27	19	42	38
46.	伊万里市	1	2780	478	29	30	50	43	
		2		478	25	24	49	44	
		3		478	22	17	30	26	

付 表 市町村毎の水稲の 10 アール当たり収量と LANDSAT のバンドデータ (つづき)

県名	番号	市町村名	地点番号	作付面積 (ha)	10アール当たり収量 (kg/10 a)	バンドデータ			
						バンド4	バンド5	バンド6	バンド7
	47.	武雄市	1	1820	490	29	27	45	41
			2		490	27	24	48	41
			3		490	24	23	49	41
	48.	鹿島市	1	1440	540	24	20	43	41
	49.	諸富町	1	540	614	25	20	53	50
	50.	川副町	1	2350	598	25	20	48	43
			2		598	24	17	50	47
	51.	東与賀町	1	960	591	24	20	47	45
	52.	久保田町	1	840	592	27	19	52	46
	53.	大和町	1	740	504	25	21	50	45
	54.	神埼町	1	1470	562	24	20	48	45
	55.	千代田町	1	1320	624	24	18	51	49
	56.	三田川町	1	505	559	24	21	44	39
	57.	東背振村	1	375	504	22	20	48	44
			2		504	25	23	47	41
	58.	基山町	1	348	523	24	20	45	43
	59.	中原町	1	328	518	25	20	51	47
	60.	北茂安町	1	671	554	26	22	56	46
	61.	三根町	1	787	618	22	17	40	38
	62.	上峰村	1	437	553	26	23	39	34
	63.	小城町	1	635	520	23	21	50	48
	64.	三日月町	1	1030	554	24	22	45	43
	65.	牛津町	1	523	570	26	21	42	39
	66.	芦刈町	1	776	561	26	20	49	45
	67.	浜玉町	1	238	492	25	18	43	43
	68.	相知町	1	543	523	26	23	42	37
			2		523	26	23	43	37
	69.	北波多村	1	240	500	25	22	44	41
	70.	玄海町	1	510	465	23	23	41	38
	71.	西有田町	1	557	493	25	27	46	41
	72.	山内町	1	488	456	28	27	43	40
	73.	北方町	1	451	515	24	20	42	39
	74.	大町町	1	301	553	21	17	51	47
	75.	江北町	1	979	536	24	19	46	43
	76.	白石町	1	2460	551	22	19	51	47
			2		551	22	17	48	45
	77.	福富町	1	878	587	23	18	50	48
	78.	有明町	1	1410	546	25	21	49	45
	79.	塩田町	1	812	517	24	20	46	41
	80.	嬉野町	1	660	470	30	30	45	35
			2		470	27	28	43	37
			3		470	25	22	43	38