

数値地理情報を用いた傾斜地水田の類型化

Distribution patterns and classification of paddy fields on slope for evaluating ecological functions.

大久保悟 加藤好武 山本勝利
(農業環境技術研究所環境管理部)

I 研究の目的と背景

日本の農村を取り巻く状況は、ここ 20～30 年で大きく変化した。生産の場としてのみ考えられてきた農地は、最近の社会情勢により、過疎化など管理の粗放化や離農が続き、生産様式は大きく変貌している。一方で、農地が国土保全や環境保全に大きく寄与していることが近年明らかにされるとともに、耕作放棄などによりその保全機能が著しく低下すると危惧されている(加藤, 1998)⁵⁾。最近では日本の農政においても、農地のもつ国土・環境保全機能を再評価し、政策の中に反映させようとする動きがみられるようになった。

日本の農地のなかで、水田は日本人の生活と密接に関係するとともに、水かん養機能や土砂流出防止機能、景観保全機能など重要な国土・環境保全機能をもつと考えられる。特に中山間地の傾斜地水田は重要であるが、きわめて不利な営農条件にあるために、耕作放棄の確率が高い。それに伴う保全機能の低下も大きいと予測されることから、中山間地域の傾斜地水田を適切に保全し、国土・環境保全機能を維持することは、緊急課題である。

これまで日本の傾斜地水田の類型化は、1988 年に行われた農林水産省構造改善局計画部地域計画課による「水田要整備量調査」で用いられた傾斜度(1/20 で約 3°)が一つの基準になっており、多くの議論がなされている(中島, 1999)⁶⁾。しかし日本の水田は多様な土地条件下にあり、発現する国土・環境保全機能の種類と強度は、水田自身もしくは周辺の土地特性によって大きく異なる。水田が立地する環境を、傾斜だけでなくその他の

地形要素や地質、土壌から把握しなければ、機能の評価は適切に行えない。

本研究は、立地条件の異なる水田ごとに国土・環境保全機能を適切に評価した上で、地域の環境に応じた水田の保全計画指針の策定を最終目標とする。この一連の研究の中で本論文では、国土庁作成の国土数値情報などを用いて、特に傾斜地水田の分布状況を全国的に把握し、数値標高データから得られる地形条件に従って水田立地の特徴を明らかにすることを目的とした。また最後に、国土・環境保全機能の観点から水田立地を類型化し、それぞれの類型タイプがどのような保全機能を発揮するかについて予測し、考察を加えた。

なお本研究は、科学技術振興事業団の科学技術特別研究員事業による試験研究の成果の一部である。また本論文で用いた国土数値情報のうち「土地利用メッシュ」と「自然地形メッシュ」は、国土庁より無償貸出を承けて利用した。

II 用いた資料と解析手法

1 全国における傾斜度別の水田分布の把握

全国における水田の分布状況を傾斜度ごとに把握するために、国土庁の標準地域メッシュ体系の地域基準メッシュ(3 次メッシュ: 約 1km²)を単位として分析を行った。用いた資料は、国土地理院作成の「土地利用メッシュ S51 (L03-51M)」, 「数値地図 50m メッシュ (標高)」である。水田の分布は、現在作成されている 3 時期のデータで、もともと水田面積の多い 1976 年作成のデータを使用した。また「土地利用メッシュ」は、地域基

準メッシュを縦横 10 分の 1 に細分したもの（以下、1/10 細分メッシュ）であるため、地域基準メッシュごとに水田のメッシュ数を算出した。

水田が立地している場所の傾斜度を、50m 標高データから算出した。1つの 1/10 細分メッシュに標高が 4 点与えられているため、この 4 点から計算される傾斜度でもっとも大きいものを選択し、1/10 細分メッシュの傾斜度とした。さらに水田でメッシュの傾斜度を取り上げ、地域基準メッシュごとに平均し、水田立地の傾斜度とした。

以上の処理で得られた地域基準メッシュごとの水田メッシュ数、水田立地の傾斜度をもとに、水田の分布状況を把握した。

2 数値標高データによる水田立地条件把握

全国規模で把握された水田立地条件のうち、傾斜地水田が多く立地する典型的な地域を数カ所選り、地形条件の解析を行った。用いた資料は、前述の土地利用データと 50m 標高データで、解析単位は 1/10 細分メッシュとした。標高データから、傾斜度とラプラスアン（傾斜変換率）を局所的な地形量として、任意の点における集水域面積（その点に流れ込む上流のメッシュ数）を流域地形統計量として計算した。

傾斜度は、任意の 50m 間隔の格子点から、前方差分（東隣と南隣）で計算したものと後方差分（西隣と北隣）で計算したものを比較し、最大のものとした（図 1）。またラプラスアンは傾斜の変換点を強調して表現するもので、この傾斜変換点は空中写真を用いた地形分類の判読基準の一つである（岩橋, 1994）³⁾。ラプラスアンの値が正に大きいとき凹型の地形であることを示し、負に大きいとき凸型の地形であることを示す。ゼロ点に近い場合には等斉斜面か平坦面である。

得られた傾斜度とラプラスアン値をもとに、斜面形態の類型化を行った。傾斜度は小数点以下を切り捨てた 1°単位で分割した。ただし 30°以上は 1つのグループとした。ラプラスアンは、傾斜度が 5° 変化した場合を基準とし、斜面の形状を凸型、凹型、等斉・平坦型の 3つに分類した。この分類と傾斜度グループを組み合わせると斜面形態の

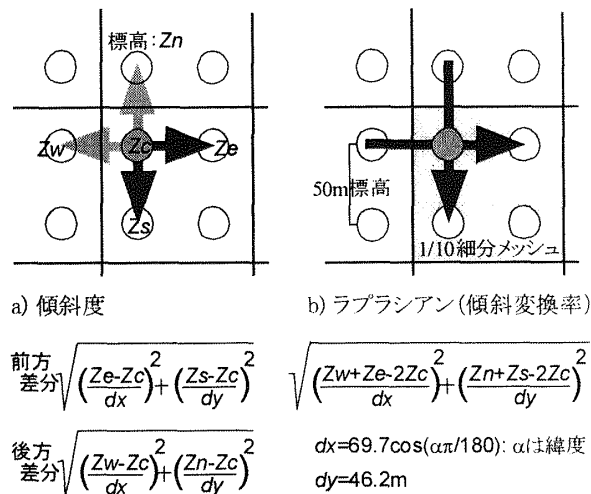


図1 1/10細分メッシュと50mメッシュの関係
および傾斜度とラプラスアンの算出方法

類型化を行った。この段階では 50m メッシュ単位であるため、1/10 細分メッシュに含まれる 4 点でもっとも優占する類型区を選択した。優占するものがない場合には、ランダムに選択した。

集水域メッシュ数の計算は、野上（1998）⁷⁾のアルゴリズムを用いて流水線図を作成し、任意の点に流れ込む上流のメッシュ数を求めた。ただし計算時間を短縮するため、50m 標高を直接用いず、1/10 細分メッシュ内の 4 点で平均標高を計算して分析に使用した。

以上のような処理で得られた斜面形態と集水域メッシュ数から、水田の分布パターンを把握し、水田の立地特性を明らかにした。

III 分析結果と考察

1 日本における傾斜度別の水田分布

図 2 左は、地域基準メッシュ単位で集計した水田メッシュ数（1/10 細分メッシュ数）の傾斜度別相対頻度である。水田と同様の手法で集計した、畑地（果樹園を含む）と森林、および陸域全体の関連を、水田と比較するために同じ図の中に示した。1976 年時点の全水田メッシュ数の大半が 0～3°に集中するが、これより傾斜が大きくなると急激に割合が減少し、15°までの累積で全体の 95%程度に達する。畑地の場合は 0°で相対頻度が低

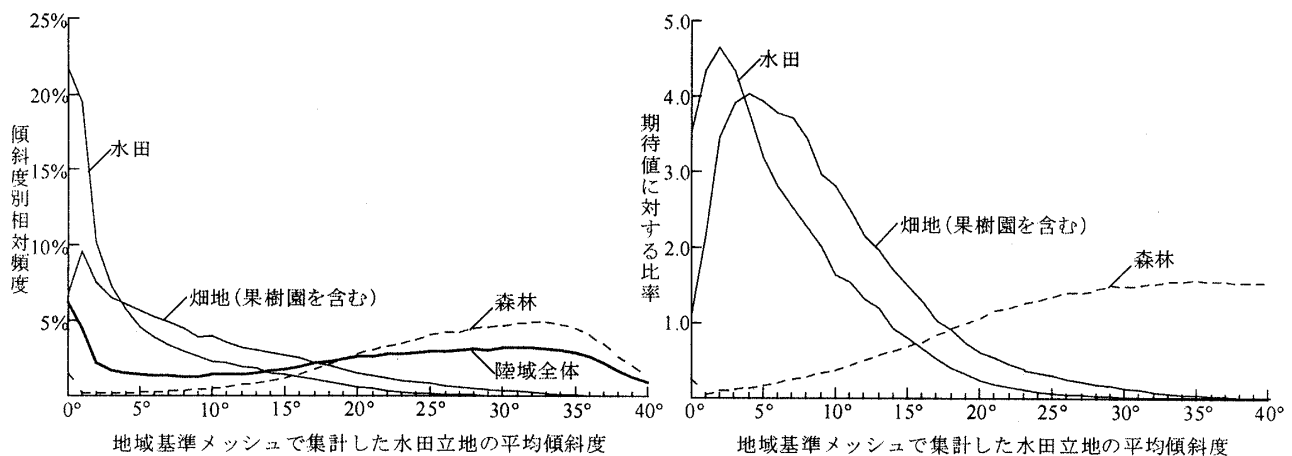


図2 日本全国の傾斜度別にみた水田分布とその空間的かたより

いものの水田と同様の傾向を示すが、水田の場合ほど傾斜度が増加したときの減少率は低い。逆に森林は、陸域全体の傾向と似ることがわかる。

図2右は、それぞれの土地利用が傾斜度ごとに均等に分布した場合の期待値に対する比率を示したものである。水田は、2°を境にこの比率は大きく変化し、13°を越えると期待値より実際のメッシュ数が少なくなる。つまり2°までは、水田のメッシュ数が減少すると同時に陸域のメッシュ数も減少するため、極緩斜面と水田の分布は強く結びついているが、2°以上の傾斜になると陸域のメッシュ数は増加する傾向にある一方で、水田のメッシュ数は急速に減少するために分布の偏りがみられなくなる。しかし10°以上の急傾斜地になると分布の偏りは小さくなるものの、図2左をみてわかるように相対頻度の減少率は緩慢である。

日本の水田分布は、平坦面もしくは緩傾斜地に著しく偏り、傾斜度が大きくなるにつれて偏りは急激に減少するが、10°以上で15%以上、15°以上でも5%以上の水田が分布し、急傾斜地にも多くの水田が立地していることがわかった。

上記の傾向をもとに傾斜を0~2°、3~13°、14°以上に分け、日本列島における水田分布を示したのが図3である。多くの文献で指摘されているように、急傾斜地水田の多くは、中国や四国、九州地方に集中しており、3~13°の傾斜地水田は、日本列島の中に広くみられることがわかった。

実際の傾斜地水田の立地を、傾斜地水田の多い市町村ごとに特徴的な地形区分を抽出して考察し

た中島(1999)⁶⁾によると、隆起準平原や第三紀丘陵地、火山山麓、海岸・河岸段丘などが多いことを指摘している。表1は、傾斜度14°以上の水田がみられる地域基準メッシュの地形・地質の特徴を、国土庁作成の「自然地形メッシュ」からみたものである。地形でみると中起伏および小起伏山地がほとんどを占め、続いて大起伏丘陵地、小起伏火山地、山麓地・火山麓地に立地していることがわかる。表層地質では、第三紀の半固結—固結堆積岩が多く、続いて中生代から第三紀の花崗岩をはじめとする深成岩、第三紀から更新世(データ上では洪積世)の安山岩をはじめとする火山岩、古生代から中生代の黒色変岩が多いことがわかる。その分布をみると、半固結—固結堆積岩に立地する傾斜地水田は中央構造線やフォッサマグナより東南の外帯に多くみられる。その他の火成岩や変成岩は逆の内帯側に多く、阿武隈山地の一部にもみられことがわかる(図3)。これは内帯側の地質年代が古く、また阿武隈山地も古い隆起準平原であり、火成岩や変成岩の風化が進んでい

表1 急傾斜地水田(14°以上)の立地特性

土地条件	優占する分類群
地形	小起伏山地(46.4%), 中起伏山地(13.9%), 大起伏丘陵地(11.3%), 山麓・火山麓地(7.5%), 小起伏火山地(5.1%), 小起伏丘陵地(4.8%)
表層地質	新第三紀半固結—固結堆積岩(18.9%), 中生代深成岩(12.8%), 新第三紀火山岩(9.5%), 古生代変成岩(4.9%)

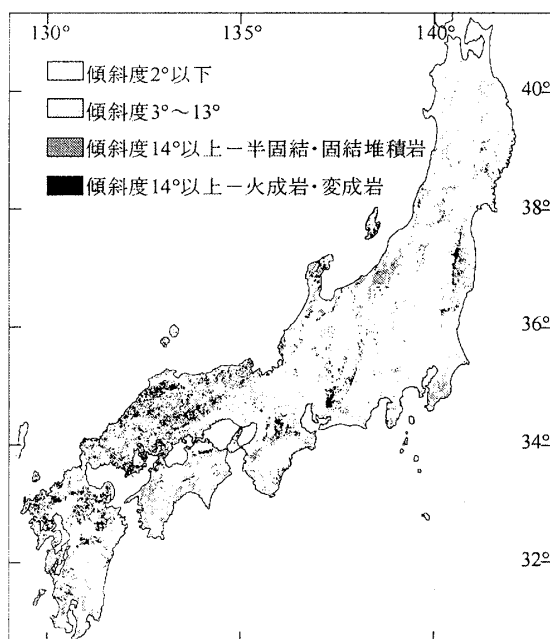


図3 傾斜度別にみた水田分布パターン

るため、急傾斜地であっても水田が立地できるような土性条件が整っていると考えられる。

2 地形条件からみた詳細な水田の立地環境

地域基準メッシュ単位で水田分布を把握した結果、傾斜度の大きな場所に位置する水田が多くみられ、花崗岩や流紋岩、安山岩などの火成岩が卓越する中国地方と、堆積岩が卓越する北陸地方を取り上げ、傾斜地水田の立地する詳細な地形条件を把握した。分析の対象は、国土庁の第一次地域区画単位で、中国地方からはメッシュコードの「5233 (20 万分 1 地勢図図名は高梁)」を、北陸

地方からは、「5538 (高田)」を対象地域とした。

図4は、傾斜度と傾斜変換率から算出した斜面形態区分と水田立地の結びつきを示したものである。図内の棒グラフは、それぞれの斜面形態における水田メッシュの頻度であり、図内の折れ線グラフはそれぞれの斜面形態に対して均等に水田が分布したときの期待値との比率を示している。傾斜度ごとに斜面形状の割合をみていくと、傾斜変換率の基準を5°程度に設定したこともあり、6°以下の傾斜度では傾斜形状はほとんど等斉・平坦型になっている。しかし7°を越えると、等斉・平坦型の傾斜面は急激に減少し、凹型の傾斜面が急増、凸型の傾斜面は徐々に増えていくことがわかり、この傾向は2つの対象地で共通である。また水田分布の偏りを期待値との比率でみると、前述した全国的に水田立地と傾斜度との関連よりも、傾斜度が大きい場所にも期待値以上に多くの水田が分布していることがわかる。特に「高梁」でその傾向が強く、傾斜度が10°を越えても期待値より2倍以上の水田が分布している。

斜面の凹凸では、同じ傾斜度であっても凸型や等斉斜面よりも、すべての傾斜度について凹型斜面に分布が偏っていることがわかる。このことを集水域面積（メッシュ数）から評価したのが図5になる。ただし縦軸の集水域メッシュ数は常用対数値で示してある。傾斜度ごとに斜面形状によって集水域メッシュ数に違いがあるかを検討するために Games-Howell 法による多重比較検定を行ったところ、すべての傾斜度において凹型斜面の集水域メッシュ数は5%水準で有意に大きいことが

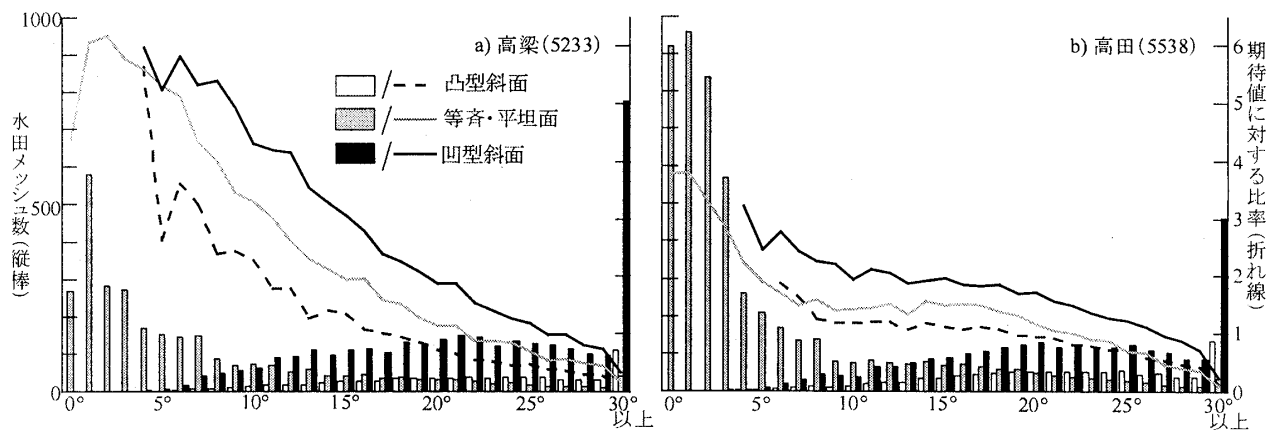


図4 20万分1図幅「高梁(5233)」と「高田(5538)」における斜面形態と水田分布との関係

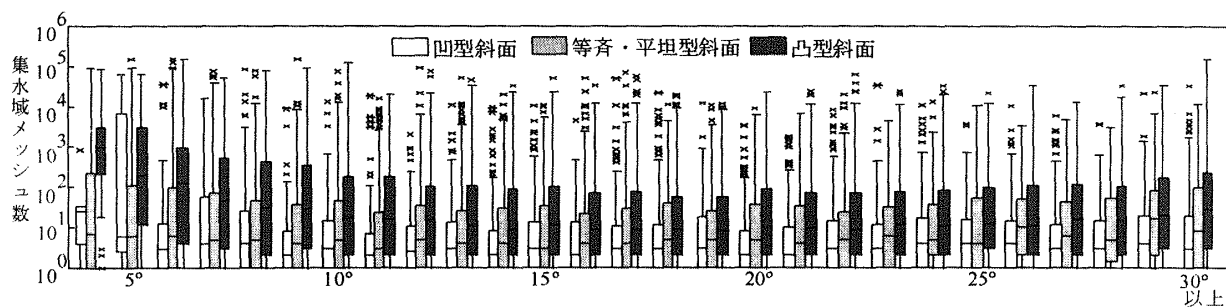


図5 斜面形態と集水域メッシュ数との関連(「高梁(5233)」のみ)

わかった。これは2つの対象地について同様の結果であった。また凹型斜面で傾斜度別に比較検定したところ、対象地によって有意差の現れ方が多少異なるが、およそ10°以下では、それ以上の傾斜度と比較して集水域メッシュ数が大きい傾向がみられた。等斉・平坦型では傾斜度間の集水域メッシュ数の差はそれほど明確な傾向がみられなかったが、「高梁」では14°以上になると有意に値が小さくなり、一方「高田」では7°以上で有意に値が小さくなる傾向がみられた。また凸型斜面では、傾斜度間で集水域メッシュ数に有意な差はみられなかった。

この結果を総合すると、全国的にみたように傾斜度が2°以下では平地型の水田と考えられるが、3°以上になると水田の分布に斜面形状が大きく影響し、凹型斜面は集水域面積が大きく、傾斜地水田の多くはこうした立地に分布している。また凸型斜面や等斉型斜面では、集水域面積は小さいが、こうした傾斜形態の場所にも水田が立地していることがわかった。

IV 国土・環境保全機能による水田の類型化

本論文では、全国的に整備が進んでいる高精度の標高データを用いて斜面形態の分類を行い、水田の分布パターンの把握と、斜面形態の違いを集水域面積から評価した。これをもとに水田立地の類型化を行うと、図6のようにまとめられる。

上記の類型区が、国土・環境保全機能上それぞれどのような役割を果たすかについて考察すると、凸型および等斉型斜面は地表水を発散する場所であり、凹型斜面は受け側部分と考えられる点に着

目することができる。受け側の凹型水田では、水の流出量を調整する役割が大きいことが予想される(千葉ら, 1997)¹⁾、また上流部から流れてくる肥料起源の窒素を浄化する能力も高い(田渕ら, 1996)²⁾、洪水防止機能や水質浄化機能を有すると推定される。傾斜地水田が放棄された後の植生は、凸型および等斉型斜面と比較すると、凹型斜面で湿性草地が維持しやすいことが明らかになっており(大黒ら, 1998)⁸⁾、こうした立地は湿地性の生物相を保全する能力が潜在的に高いと考えられる。しかし耕作放棄されると、他の機能が低下する可能性もある。たとえば千野ら(1994)³⁾によれば、凹型傾斜地では凸型や等斉型の斜面に比べて台風時に畦畔が崩壊する危険性が高いと指摘されており、適切な法面管理が行われなければ洪水防止機能は維持できないと考えられる。これは土壌侵食でも同様で、吉川ら(1998)¹⁰⁾によ

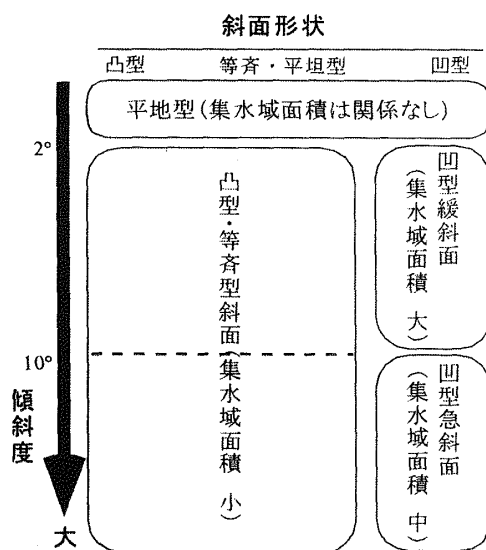


図6 斜面形態と集水域面積からみた水田の類型化

れば、凹型斜面の畑地では雨水が集中して斜面下部で湧水を生じさせるため、この湧水により表層侵食が起こっていることが明らかにされており、こうした立地の水田が放棄されると土壌侵食防止機能が著しく低下すると予測される。このようにそれぞれの国土・環境保全機能の発現は、同じ斜面形態であっても細かい土地管理方法などの影響があることを無視できない。

一方凸型や等斉型の傾斜地水田が持つ機能について、その他の斜面形態と比較しながら考察できる論文は少ないが、岩間ら（1995）⁴⁾は、特に水源の確保しにくい急傾斜の凸型斜面で耕作が放棄されている現状を把握し、放棄後に法面が崩壊する割合が高いのもこうした斜面であるため、水田営農が困難な場合には、積極的な土地利用転換を提案している。こうした立地の水田については、凹型斜面の水田と比較しながら機能の評価を行う必要がある。

V まとめ

本論文で明らかにしたように、斜面形態と水条件の関連性は強く、そのため図6のような類型タイプによって国土・環境保全機能の発現は大きく異なることが、過去の文献から考察された。また水田立地だけではなく、細かい土地管理も機能の発現に影響すると予測されたため、今後はより詳細な現地調査を行い、水田立地と管理の違いにより国土・環境保全機能の発現がどうことなるかを明らかにする必要がある。一方で広域的な観点から、今回の水田立地の類型手法をもとに、形態の異なる水田の分布パターンと耕作放棄状況、管理の担い手が確保できるかなどの社会的要因とを関

連づけることで、傾斜地水田を傾斜度のみで評価するのではなく、地域の特性に応じた評価手法を開発することにより、適切な水田景観の保全計画策定に役立てていきたい。

引用文献

- 1) 千葉克己・古賀潔・馬場秀和（1997）：「傾斜地半湿地帯における耕作放棄水田の物理特性と豪雨への対応の検討」，農業土木学会論文集，190，pp. 61-70.
- 2) 千野敦義・木村和弘・伊藤正樹（1994）：「山間急傾斜地水田の荒廃化と台風による農地災害」，農業土木学会誌，62，pp. 295-300.
- 3) 岩橋純子（1994）：「数値地形モデルを用いた地形分類手法の開発」，国土地理院時報，80，pp. 52-58.
- 4) 岩間秀矩・坂西研二・麓多門（1995）：「粘土質棚田の法面崩壊と耕作放棄の影響」，日本土壌肥料学会講演要旨集，41，p. 141.
- 5) 加藤好武（1998）：「農林地および農用地のもつ国土保全機能の定量的評価」，環境情報科学，27，pp. 18-22.
- 6) 中島峰広（1999）：『日本の棚田－保全への取り組み』，古今書院.
- 7) 野上道夫（1998）：「DEM（数値標高モデル）からDDM（流水線図）を作成するアルゴリズムの改良とC言語プログラム」，GIS－理論と応用，6，pp. 95-102.
- 8) 大黒俊哉・松尾和人・根本正之（1998）：「生物多様性の視点からみた中山間地の耕作放棄水田植生」，農村計画学会講演要旨集，pp. 145-148.
- 9) 田淵俊雄・志村もと子・尾野充彦（1996）：「休耕田における窒素除去試験の結果と実用性の検討」，農業土木学会誌，64，pp. 345-350.
- 10) 吉川省子・山本博・石原暁・花野義雄（1998）：「四国地域における農地管理の粗放化に伴う土壌侵食の変動評価」，日本土壌肥料学雑誌，69，pp. 265-277.

The objective of this paper is to clarify distribution and location of paddy field using the digital national land information for evaluating ecological functions. As a result of paddy field distribution nationally, it was proven that paddy field on steep slope was being concentrated for the location where the geological age is old, though many on moderate slope within the range from 3° to 13° were widely distributed. In the case regions, location of paddy fields on slope was divided into two types, namely convergent slope where the water utilization is good, and divergent slope where the water utilization is bad. In conclusion, each paddy field type was discussed as view of ecological function, the function was considered to be greatly differed between each type.