九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

中山間地域における農業・農村整備事業と環境保全（2）：自然度の評価と地域エネルギーの利用

弓削，こずえ
九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座灌漑利水学研究室 | 九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻地域環境科学講座灌漑利水学研究室

落合，一奈
九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座灌漑利水学研究室 | 九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻地域環境科学講座灌漑利水学研究室

中野，芳輔
九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座灌漑利水学研究室

甲斐，諭
九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座灌漑利水学研究室 | 九州大学大学院農学研究院農業資源経済学部門農業関連産業組織学講座農産流通学研究室

https://doi.org/10.15017/21085

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 55 (2), pp.227-235, 2001-02. 九州大学大学院農学研究院
バージョン：
権利関係：

九大農学芸誌（Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ.）
第55巻　第2号　227-235（2001）

中山間地域における農業・農村整備事業と環境保全（2）
――自然度の評価と地域エネルギーの利用――

弓削　こずえ*・落合　一奈*
中野　芳輔・甲斐　諭**
九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門地域環境科学講座灌漑利水学研究室
**九州大学大学院農学研究院農業資源経済学部門農業関連産業組織学講座農産流通学研究室
（2000年10月31日受付，2000年11月10日受理）

Evaluating the Effect of Agricultural Infrastructure Improvement on Environment in Hilled Area (2)
――Conserved Level of Nature and Clean Energy Generation Promotion――

Kozue YUGE*, Kazuna OCHIAI*, Yoshisuke NAKANO and Satoshi KAI**
Laboratory of Irrigation and Water Utilization, Division of Regional Environment Science, Department of Bioproduction Environmental Science, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581
**Laboratory of Agricultural Marketing, Division of Industrial Organization of Agribusiness, Agricultural and Resource Economics, Department of Agricultural and Resource Economics, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581

1．緒　　言

中山間地域の農村では水・土・気候などの自然条件が土地それぞれ特有の自然環境を作り出している．肥沃な大地は農業生産の基盤であり，河川・湖沼などは生産のための水源としての役割を持つ．さらに，豊かな降雨や日照などは作物の生育にとって不可欠である．このような環境が互いに均衡を保ちながら維持されることにより農村では生産活動を営むことができ，美しい景観を維持することができる．以上より，地域の自然環境は地域の資源と考えることができ，今後，農村地域が持続的な発展を遂げるにはこれらの資源を有効に利用することが必要である．

本研究では，まず土地利用状況を基に現況の自然度を数値で評価し，自然度に影響する要因分析を行った．その結果を利用して農村地域の整備や保全の方向を示した．

また，太陽・水・風などの地域資源を生かしたクリーンエネルギーによる発電賦存量を推定し，これらを農業などの地域産業へ利用することを検討し，環境負荷の小さい循環型社会の形成を目指した．

2．自然度評価

1）自然度の分布

土地利用の現況を分析するため，自然度の評価を行った．1/25,000の地図より土地利用状況を読み取り，環境庁自然保護局（1975）を参考に自然度を表1のように分類し評価する．

モデルには八女東部地域の3町村（黒木町・上陽町・星野村）を採用し，モデル地区とその周囲の市町村の

* 九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻地域環境科学講座灌漑利水学研究室
* Laboratory of Irrigation and Water Utilization, Division of Regional Environment Science, Department of Bioproduction Environmental Science, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Science, Kyushu University

表1　地目と自然度評価点（環境庁自然保護局　1975）

地目	評価点
水面	7
広葉樹林	7
針葉樹林	6
竹林	6
荒れ地	4
果樹・茶園	3
田・畑	2
住宅地	1

1部を含め，1 km^{2}の正方形のメッシュを計160作った．一つのメッシュの自然度を，表1の分類に基づいて評価した結果，図1の自然度の分布が得られた．

2）自然度と地理的要因

ここでは地理的要因が自然度に及ぼす影響について検討を行った．地理的要因には様々なものがあるが，本研究では八女東部地域の中核都市である八女市の中心部（八女市役所）と各メッシュまでの道程距離を採用した．

自然度と八女市中心部からの距離の単相関を求めたところ，分布図および回帰直線は，図2に示す結果が得られた．相関係数は0.54となり，やや相関ありといえる．すなわち，本地域では八女市が流通，政治および商業などの中心となっているが，八女市からの距離

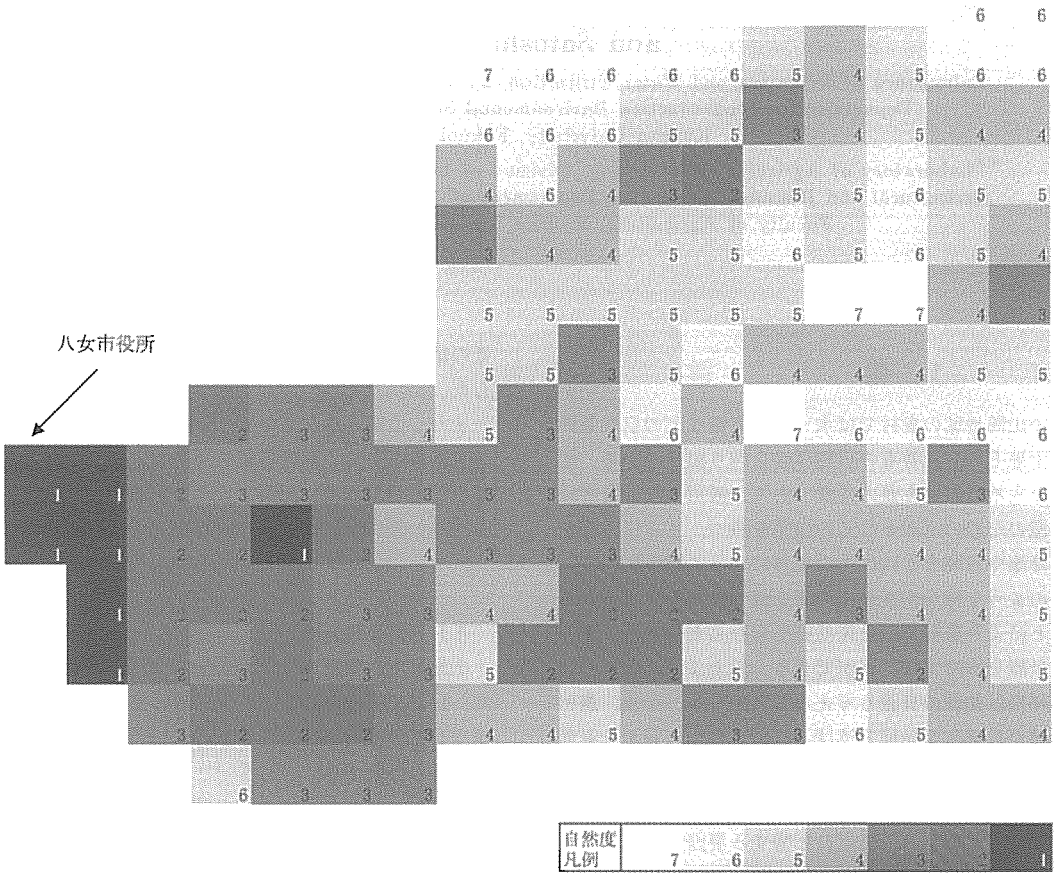

図1　自然度の分布

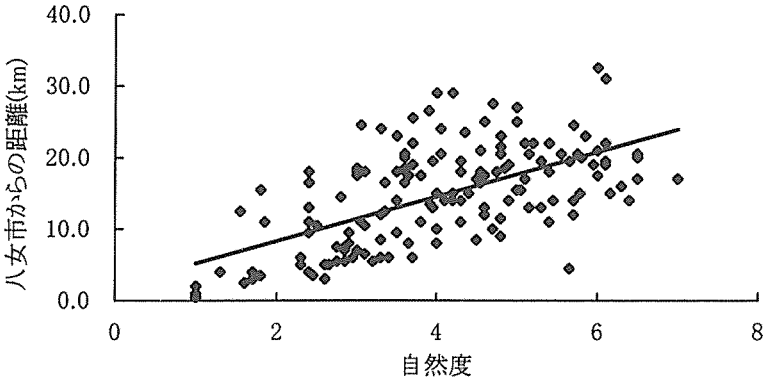

図2　八女市からの距離と自然度の相関関係

が近いほど開発が進んでおり，距離が遠いほど自然度の高い状態で残っている傾向がある．

3．地域エネルギーの評価

現在，生産･生活の両方において，エネルギーは石油に頼る部分が大きく，農業活動においても機械の燃料，施設栽培など石油資源を多用している．最近，世界的に大気汚染物質，二酸化炭素の排出規制が行われ始め，また石油資源の枯渇も予想されている．

生活の基本となる農業活動を永続的に行うためには，環境に対する負荷が小さく，地域資源を利用したエネルギーの開発が必要であり，地域内でエネルギーが循環していくような農業のシステムを確立する必要がある．そこで，本地域において太陽光を有効に利用することができる斜面などを有する地点を選定し，自然エネルギーの賦存量を推定した．

1）太陽エネルギー

(1) 特質

太陽エネルギーは，石油資源の枯渇や大気汚染が危惧されている現在，注目するべき特徴を持っている．地表が受ける太陽エネルギーの量は，快晴時には約1,000kW/m^{2}であり，地球全体に降り注ぐ20分間の太陽エネルギーの量は，世界の年間エネルギー消費量に匹敵する．その豊富なエネルギーは無尽蔵に近く，大気汚染の恐れもなく，日本のどの地域でも得られるなどの利点がある．しかし，天気・季節・地形などによって大きく変動し，夜間は利用できないなどの欠点もある．

(2) 太陽エネルギーの成分とその推定

太陽光線には直達放射成分と散乱放射成分がある．直達放射成分は太陽の高度，方位角によって変化する．一方，散乱放射成分は一般に全天から万遍なく放出される．このことから，地表斜面が受ける太陽エネルギーを計算するためには気象台で得られる日射量のデータを，2つの成分に分類しなければならない．また，斜面に入射する日光は，時刻によって高度および方位が変わるため，時間毎の斜面日射量を求める必要がある．

(a) 水平面全天日射量 IH の算定

多くの場合，与えられる水平面全天日射量 Q は1日の日射量を積算したものである．Q を直達日射成分と散乱日射成分に分離するには時間ごとの日射量の変化を捉える必要がある．日射量の変化は1日の中では天気の状態によって不安定であるが月平均をとると不規則性は消えて sin 曲線で表現することができる．すなわち，1時間当たりの水平面全天日射量 I_H は次式で求めることができる．

$$I_H=\frac{\pi Q}{2T_0}\cos\frac{\pi}{T_0}(T-12) \qquad (1)$$

ここで，T_0：可照時間，T：時刻（太陽時）である．

(b) 直達日射成分と散乱日射成分の分離

I_H は直達日射成分 I_{HD} と散乱日射成分 I_{HS} から成るため，それぞれを別個に算出する必要がある．また本地域のような傾斜地の多い地域で太陽エネルギーの評価を行う場合，傾斜面に入射する日射量を推定しなければならない．まず，大気外日射量 I_0 を次式を用いて算出する．

$$I_0=1164+38\sin\left\{\frac{360(89+D)}{360}\right\} \qquad (2)$$

ここで，D：1月1日からの日数である．これより大気外の水平面日射量 I_{0H} を求め，I_{0H} と I_H との比 p を

用いて地上における水平面直達日射量 I_{ND} を算出することができる．すなわち，

$$I_{0H}=I_0\sin h_0 \tag{3}$$

$$p=\frac{I_H}{I_{0H}} \tag{4}$$

$$I_{ND}=1540p-470 \tag{5}$$

となる．ここで，h_0：太陽高度である．

次に，水平面における散乱日射量 I_{HS} を次式を用いて計算する．

$$I_{HS}=I_H-I_{ND}\sin h_0 \tag{6}$$

また，斜面への入射角 i としてその余弦を求めると，

$$\cos i=\cos\varepsilon\sin h_0+(\cos h_0\sin\varphi)(\sin\varepsilon\sin\phi)+(\cos h_0\cos\varphi)(\sin\varepsilon\cos\phi) \tag{7}$$

となる．ここで，ε：斜面の傾斜角，ϕ：斜面の方位角，φ：太陽の方位角である．(5) 式および (7) 式を用いると，斜面に入射する直達日射量 I_{PD} は次式で計算することができる．

$$I_{PD}=I_{ND}\cos i \tag{8}$$

また，斜面に入射する散乱日射量 I_{PD} は入射する面における天空の形態係数に比例することから次式で計算することができる．

$$I_{PS}=I_{HS}\frac{1+\cos\varepsilon}{2} \tag{9}$$

ところで地上に到達した全天日射量は反射し，その一部が斜面に入射する．その量 I_{PR} は天空以外の部分の形態係数 $(1-\cos\varepsilon)/2$ を用いることによって，次式で算出することができる．

$$I_{PR}=\rho I_H\frac{1-\cos\varepsilon}{2} \tag{10}$$

ここで，ρ：地面の反射率である．

以上から，斜面における全天日射量は次式で求めることができる．

$$I_P=I_{PD}+I_{PS}+I_{PR} \tag{11}$$

(3) 地表におけるエネルギー分布

作物の生育に太陽光のエネルギーは非常に大きな影響を与える．エネルギーを有効に利用することは農業の効率化を図る上で重要である．そこで，農地の多くが傾斜面に展開している中山間地域において，傾斜角や斜面の方位等の条件によって地表面が受ける太陽エネルギー量がどのように変化するかについて計算を行った．ここでは地表面に到達する太陽エネルギーが少なくなる冬（12月）を例に，各斜面に入射するエネルギーの日平均値を図3に示す．図3より，南向き斜面のエネルギー量は角度が大きくなるにつれてエネルギーが増加することがわかる．また，方位による差が顕著に表れており，特に傾斜角が40°以上の場合，南向き斜面は北向きの2倍以上のエネルギーを受けている．さらに同時期の完全晴天時の場合（図4）では，南向き斜面は北向きより多くのエネルギーを受けることがわかる．気温が低く，太陽エネルギー入射量の少ない冬に，多くのエネルギーを得ることができる南向き斜面は農業生産上有利であるといえる．

具体例として，傾斜地に農地が展開している福岡県上陽町木浦地区の地表が受ける太陽エネルギーの分布を図5に示す．

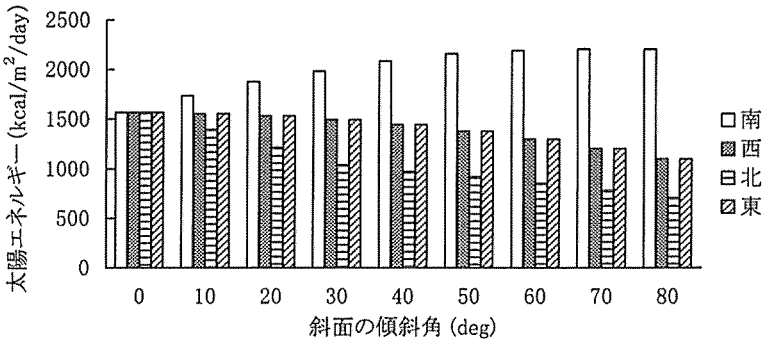

図3　斜面が受ける太陽エネルギー（12月における1日当たりの平均）

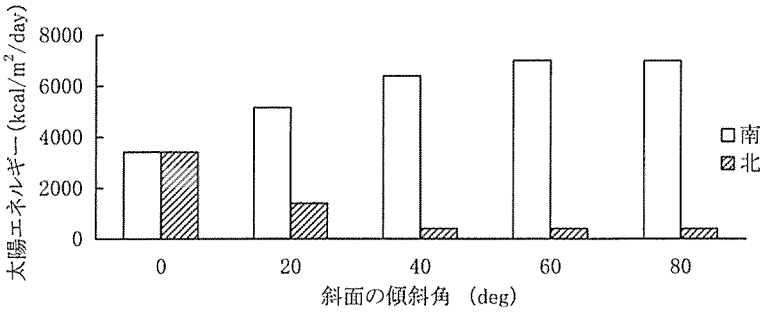

図4　南・北向き斜面が受ける太陽エネルギー（12月における1日当たりの平均・完全晴天時）

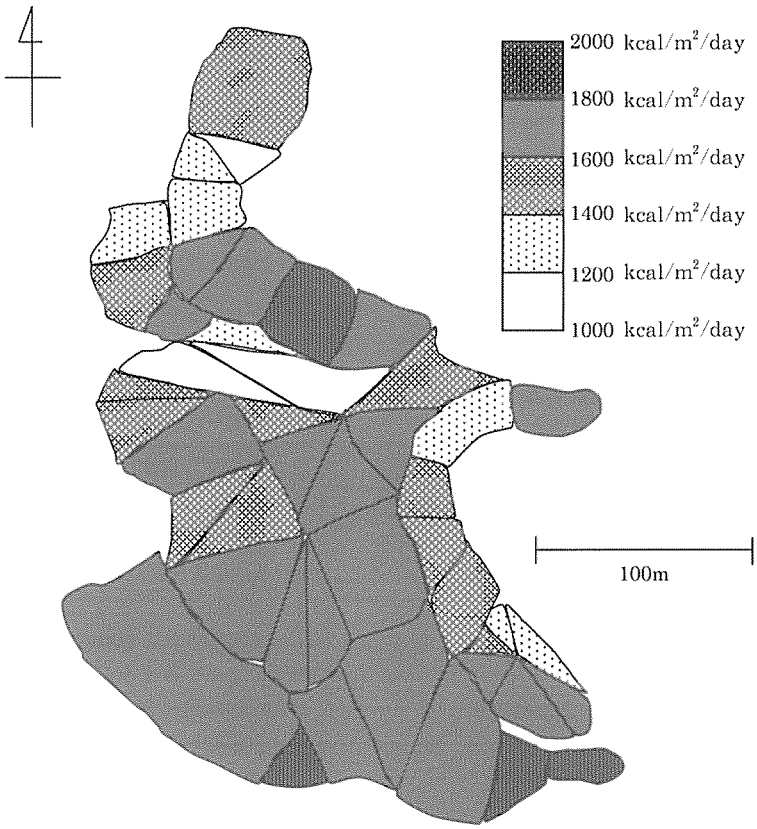

図5　太陽エネルギーの分布（木浦地区・1日当たりの年間平均）

(4) 太陽光発電の変換効率

太陽電池の変換効率は出力電気エネルギーを入射する太陽光のエネルギーで除して求めることができる．これより変換効率は約12.6%であり，さらにインバーターによる損失など考慮して，実用段階における変換効率は，8.85%となる．

(5) 施設栽培への利用

前に述べたように，特に冬期において南向き斜面は他の条件の土地に比べて太陽エネルギーの量が多いことが判明した．そこでこの利点を生かし，南向き斜面

表2　太陽光発電量

月	日射量 (kcal/m²/month)	発電施設規模20kWPの発電量 (kWh/m²)
1	63,085	1,035
2	69,776	1,144
3	93,124	1,527
4	103,020	1,690
5	110,422	1,811
6	95,370	1,565
7	103,912	1,705
8	111,507	1,829
9	92,670	1,520
10	99,167	1,627
11	77,220	1,267
12	64,542	1,059
合計	1,083,815	17,779

に太陽電池を設置し，農業用に利用することを考える．例えば，施設栽培，灌漑施設，防除施設，害獣除けの電気柵および茶園の降霜防止の送風機などである．

ここでは実際に太陽エネルギーを使用する発電施設で発電し，施設栽培に利用するとして，使用する施設の総効率を求める．

一日あたり発電量 P_{day}(kWh) は次式で与えられる．

$$P_{day}=Kt\cdot Kd\cdot \eta\cdot A\cdot Pd\cdot Q_W$$
$$=K\cdot Pd\cdot Q_W \qquad (12)$$

ここで，K_t：温度補正値，Kd：直流補正値，η：インバータ平均効率，A：太陽電池ピーク出力，Pd：太陽電池容量，K：総効率（ここでは0.703とする），Q_W：日射量である．

表2は，発電施設規模20kWPを設置したときの発電量を示している．

苗床に必要な電力は，目標とする保持温度，使用時の外気温度，苗床の保温条件，場所，床土の種類，含水量などの条件によって変わる．これらのことを考慮に入れて，必要な電力量は次式で求められる．

$$U=(U_0-\Sigma U_x)m]$$
$$=\{n(N-N_0)-\Sigma U_x\}m \qquad (13)$$

ここで，U：必要とする電力（kWh），n：必要とする床温によって決まる定数（kWh/℃），N：必要とする早朝の床温（℃），N_0：使用時刻の地表面下6cmの最低地温の平均値（℃），U_0：自然の裸地で床温を得るのに必要な電力（kWh），ΣU_x：施設合理化によって軽減される電力の算術和（kWh），m：床土の厚さによって決まる定数である．

斜面の傾斜角・方位角と，太陽エネルギーの関係をふまえ，圃場の形状，作付け作物の選択，栽培時期などを考慮すると，エネルギーを効率よく営農に利用することができる．

2）小水力エネルギー

(1) 特質

小水力発電とは，水力発電の中で発電規模が2000kW未満のものをいう．利点としては出力が大きく長期的に安定しており，ランニングコストが少ないことなどが挙げられる．一方で，建設コストが比較的高いことなどが欠点である．

(2) 賦存量の推定

小水力エネルギーの賦存量を推定するために必要な諸元を以下の手順にしたがって計算する.

(a) 小水力エネルギーによる発電量

小水力発電に使用される水車の形式は様々なものがある. また, 流量と落差により供給できる電力は水車の種類によって異なる.

一般に, 発電量 P(kW) は次式で求めることができる.

$$P=9.8Q_E H\eta_0 \quad (\eta_0=\eta_t\times\eta_g\times\eta_n) \tag{14}$$

ここで, Q_E : 使用水量 (m^3/s), H : 有効落差 (m), η_t : 水車効率, η_g : 発電機効率, η_n : 増速機効率であり, η_0 は水車の種類によって異なる定数である.

(b) 河川流量の算出

小水力発電に利用する川の流量を次式により求める.

$$Q_T=1000frA_T \tag{15}$$

ここで, Q_T : 流出量 (m^3/年), f : 流出率 (山地河川では0.75～0.85.), r : 降雨量 (mm/年), A_T : 流域面積 (km^2) である.

(c) 有効流量の算出

(15) 式によって求めた河川流量より, 本地区で灌漑に用いられる流量を引いたものをエネルギー供給に使用することができる流量と見なす.

灌漑用水量は次式で求めることができる.

$$Q_i=\frac{hnA_i}{E} \tag{16}$$

ここで, Q_i : 用水量 (m^3/年), h : 単位用水量 (m/日), n : 一年間の灌漑日数 (日), A_i : 耕地面積 (m^3), E : 灌漑効率である. (16) 式および (17) 式から, Q_E は次式で求めることができる.

$$Q_E=Q_T-Q_i \tag{17}$$

(14) 式および (17) 式より小水力エネルギーによる発電量を求めることができる.

(3) 試算例

本地域には傾斜地が多く展開し, 傾斜地を流れる河川は上流と下流では大きな高低差があるため, これを活かした小水力発電によるエネルギーの供給が期待できる. ここでは, 上陽町のS川を例に試算を行った.

(15) 式より河川流量は次式のようになる.

$$Q_T=1000\times0.8\times1967\times4=6294400\mathrm{m^3/年}$$

なお, r : 黒木町の年間降水量1967mm/年, A_T : 4 km^2, f : 0.8である.

灌漑用水量については, 本地区には茶畑38.3ha と水田 7 ha が混在しており, これらを別個に考える必要がある.

水田の用水量は代かき用水量 Q_{p1} および圃場用水量 Q_{p2} を算定する. 代かき用水量 (水深) h_{p1}=150mm/日および減水深 h_{p2}=25mm/日として, 代かきに要する日数を 1 日, 灌漑期間を 4 月から10月の214日とすると, Q_{p1} および Q_{p2} は次のようになる.

$$Q_{p1}=0.15\times70000\times\frac{1}{0.9}=11700\mathrm{m^3/年}$$

$$Q_{p2}=0.025\times214\times70000\times\frac{1}{0.9}=416000\mathrm{m^3/年}$$

以上より, 水田の用水量 Q_p は次のようになる.

$$Q_p=Q_{p1}+Q_{p2}=427700\mathrm{m^3/年}$$

本地区では茶畑の用水量は凍霜害防止用水量 Q_{t1}, 病害虫防除用水量 Q_{t2} および液肥用水量 Q_{t3} からなる. それぞれの単位用水量を h_{t1}=20mm/日, h_{t2}=0.6 mm/日および h_{t3}=4 mm/日とし, 灌漑期間を年間にそれぞれ33日, 2 日, 4 日とすると, (16) 式より次の値が得られる.

$$Q_{t1}=0.02\times33\times383000\times\frac{1}{0.8}=316000\mathrm{m^3/年}$$

$$Q_{t2}=0.006\times2\times383000\times\frac{1}{0.8}=5740\mathrm{m^3/年}$$

$$Q_{t3}=0.04\times4\times383000\times\frac{1}{0.8}=76600\mathrm{m^3/年}$$

すなわち, 茶畑の用水量 Q_t は, 次式のようになる.

$$Q_t=Q_{t1}+Q_{t2}+Q_{t3}=398300\mathrm{m^3/年}$$

次に, Q_T から Q_p および Q_t を引いて有効流量 Q_E を求めると次式のようになる.

$$Q_E=Q_T-(Q_p+Q_t)=6294400-(427700+398300)$$
$$=5468400\mathrm{m^3/年}$$

この値から 1 年間の 1 秒当たりの平均流量 Q_E' を求める. すなわち,

$$Q_E'=\frac{5468400}{365\times24\times60\times60}=0.17\mathrm{m^3/s}$$

となる.

本地区の高低差は約140mで，このうちの20mを導水に用いるとすると有効落差は120mとなる．有効落差を考慮してクロスフロー水車を（$\eta_0=0.82$）を用いるとすれば，(14) 式から発電量を求めることができる．すなわち，

$$P=9.8\times0.17\times120\times0.82=164.0(\mathrm{kW})$$

となる．

3）風力エネルギー

(1) 特質

風力エネルギーは，太陽エネルギーの一形態である．エネルギー源としての特長は，無尽蔵で，エネルギー変換に際して化学物質や熱による環境破壊がないことなどである．欠点としては，エネルギー密度が低く，大規模，大出力装置の製作が単一では困難であり，気象条件に左右されることなどがある．

(2) 風車の性能

理想風車が風から取り出すエネルギー W(W) は次式で与えられる．

$$W=\frac{1}{2}\rho A_U V^3 \tag{18}$$

ここで，ρ：空気の密度（1.255kg/m^3），A_U：受風面積（m^2），V：風速（m/s）

(18) 式のように理想風車が風から取り出すエネルギー量は，風車の面積と風速の3乗に比例する．しかし，風の持つ運動エネルギーのうち，風車の回転運動に変換されるのは最大でも60%に過ぎない．実際の風車では空気の粘性などの影響で，効率は40%に達しないことが多い．

(3) 風力エネルギーの賦存量

福岡県八女東部地域の風力エネルギーの賦存量を試算した．黒木地域気象観測所における風速の毎時24回の平均値から年間平均値 $V=1.39$（m/s）を使用すれば，(18) 式より次のようになる．

$$W=1.69A_U$$

単位風車面積あたりのエネルギー量は，146kWh/m^2/日となる．

風のエネルギーは，時間的，季節的な変動が大きく，正確に計算するには，風速の度数分布などから検討することが必要である．

(4) 発電量の推定

風力発電量 P_e は次式で与えられる．

$$P_e=\frac{1}{2}\cdot\rho\cdot\eta_w\cdot\eta_m\cdot\eta_g\cdot V^3A_U \tag{19}$$

ここで，η_w：風車効率，η_m：機械伝達効率，η_V：発電効率である．

一般には，η_w，η_m および η_V を平均して0.3～0.38を用いる．山頂付近に風車を設置し，平均5m/sの風速を得たとすれば約2300kWh/m^2/日が得られる．ただし風車には有効風速があり，一定以上の風速がなければ動かないので現実には推定より小さくなる．

4．中山間地域の将来展望

前述の通り，自然度の評価を行った結果，本地域では自然度と八女市中心部からの距離に相関があることが判明した．この傾向に従うと八女市近郊では商業・サービス業・農産物加工業などの第二次・第三次産業，平坦地を活かした大規模な農業経営が適していると思われる．一方，自然度が高い地区では従来の稲作や茶栽培に加え，近隣の福岡市などの大都市をターゲットとした施設栽培を行うことも地域の活性化に寄与すると思われる．また，このような地区にはキャンプ場や公園などのような地域住民ばかりでなく都市からの観光客も余暇に利用できる施設がある．さらに，近年では体験農業などへの関心が高まっているが，このような場を提供することも本地域に活力を与える要因になると思われる．

以上のようなプランにはさまざまな施設が必要である．その管理・運営にはエネルギーが必要不可欠であるが，本地域では中山間地域の特質を活かしたエネルギーの利用を期待することができる．このように，地域資源を有効に利用し，個性のある活性化方策を図ることにより持続的な地域の発展を指向することが肝要であろう．

5．要　　約

農村環境の保全や整備については，長期的・広域的な計画を立てて実現することが必要である．地域の特色および地域の将来のあり方を考慮に入れて地域の特性に適合した計画を実施するためには，今回の自然度のようにそれらの特性を数量によって客観的に評価することが必要である．また，太陽発電，小水力発電および風力発電の可能性について考察を行った．本来不利な条件である傾斜などを利用したこれらエネルギーの活用は中山間地域の個性を活かした発展に大きく寄与するものと思われる．自然エネルギーを利用した環

境に負荷の少ない生活や農業活動を行うことが農村の持続的な発展にとっては必要なことであると考えられる.

本論文を作成するにあたり，農林水産省九州農政局北部九州土地改良管理事務所の諸氏に協力を頂いた．記して謝意を表する.

文　　献

環境庁自然保護局　1975　福岡県植生自然度図
財団法人日本気象協会福岡本部　福岡県気象月報　平成10年1月-12月
農業気象ハンドブック　1975　養賢堂
板木利隆　1983　施設園芸・装置と栽培技術—改善の方向と展開—．パワー社
黒田正治・中野芳輔　1993　喜界（一期）農業水利事業太陽光発電導入可能性調査業務報告書．社団法人　畑地農業振興会
黒田正治・中野芳輔　1989　宮良川・名蔵川農業水利事業地域エネルギー利活用検討委託業務報告書．社団法人　畑地農業振興会
後藤眞宏　1992　クリーンエネルギーと農業（その4）—水力，風力，波力の利用—．農業土木学会誌，60(9)
清水幸丸編　1990　自然エネルギー利用学　パワー社
中野芳輔　1977　福岡県宗像町の自然環境に関する一考察．九大農学芸雑誌，32(4)

Summary

For the sustainable development of rural area, land improvements and infrastructure investments should be included in the long term planning. Rural areas have their own characteristics geometrically, climatically, ecologically, residentially and historically. The quantification of those factors which consist of characteristics of each area is important for the rural planning. Additionally those plans should not be restricted in the small area but the large area including several towns resembled.

First, taking a study area of 160 km^2 in East Yame which located in Fukuoka Prefecture, the conserved levels of nature are evaluated on the basis of land-use pattern and discussions were conducted for establishing the methods to protect environment.

Second, the availabilities of solar energy, small scale hydro-power and wind power generation were discussed. As these energy generation facilities are less harmful to environment, they should be promoted for rural areas to use them for industrial production and for daily lives of residents in the future.