

## イランにおける小麦および水稻栽培のエネルギー収支

津野 幸人\*・杉本 秀樹\*\*・藤山 英保\*\*\*

### An Investigation of the Energy Use of Wheat and Rice Cultivation in Iran

Yukindo TSUNO,\* Hideki SUGIMOTO\*\* and Hideyasu FUJIYAMA\*\*\*

#### Summary

The energy use of wheat and rice cultivation was investigated during 1978 in Iran. The number of investigated farms of the former was 27 plots in six provinces and that of latter was 7 plots in two provinces.

The input-energy of wheat cultivation and grain yield ranged from 0.5 to  $1.1 \times 10^6$  kcal/ha and from 0.5 to 4.2 ton/ha, respectively. The grain yields of wheat could be shown to have a parallel relation to the logarithm of the input-energy. High-yielding farms of 2 ton/ha in both methods of traditional agriculture, dry-farming and qunart-irrigation, had six as the maximum value in the energy ratio (ER: output-energy as grain yield/input-energy of cultivation). However, pump-irrigation with chemical fertilizer, harvesting high yields from 2 to 4.2 ton/ha, showed low ratios from 1 to 2.5 in the ER.

In the case of rice, yields were 0.4~2.25 ton/ha of unhulled rice and the ER ranged from 1 to 6 over the 7 plots. The ER of the Ahvaz area, as a low-yielding area with extensive agriculture, varied widely from 1 to 6. On the other hand, that of the Esfahan area, as a high-yielding area with relatively intensive agriculture, was around 2.4.

#### 1. ま え が き

イランの農業は dry farming (乾地天水農業) とかんがい農業に二大別される。とくに前者の歴史は

古く、アゼルバイジャン地方の dry farming は人類が農耕を開始した当時からのものであらうと推定されている。6千年とも8千年ともいわれる dry farming の永続性と、乾燥地におけるかんがい農業の短命さ

\* 鳥取大学農学部作物学研究室

\*\* 愛媛大学農学部作物学研究室

\*\*\* 鳥取大学農学部作物栄養学研究室

\* *Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tottori University*

\*\* *Department of Horticulture and Agronomy, Faculty of Agriculture, Ehime University*

\*\*\* *Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Tottori University*

は極めて際立った印象を我々に与える。トルコとの国境に近いタブリツ、レザイエの農業の実態をみて、dry farmingの永続性は最小限の労力の投入で一定の収穫をあげつづけることができるところに、その原因があるのではなかろうかと直感した。この直感を数字で示すために、イラン各地の小麦栽培のエネルギー収支を調査した。

また、わが国の水稻栽培はエネルギーの投入量の多さで単収の高さが支持されており、近年では投入エネルギーが収穫物として回収されるエネルギー量を大きく上廻ってしまったことを示す報告がある(宇田川, 1976)。熱力学の法則を持ちだすまでもなく投入エネルギーが収穫エネルギーよりも過大であるのは、農業の永続性を損ねるものであることは容易に理解できる。イランにおいても水稻栽培はなされており、その実態は極めて素朴なかんがい農業の一部として位置づけることができる。乾燥地における水稻栽培の実状を知ると同時に、栽培に要するエネルギー量を算出し、それとわが国における値とを比較するのも農業の発展方向を考えるうえで意義があろう。

ところで、まず問題としておかねばならぬのは、投入エネルギーの意味である。ここでいう投入エネルギーとは作物栽培のために人間が投入した労力、畜力の生物的エネルギーと、作物栽培のために用いた機械の稼動に要したエネルギー、農業資材の製造に要したエネルギー、施設の構築に要したエネルギーなど物理的エネルギーの総和を指すものとする。もちろん、作物生産の原動力は太陽エネルギーに由来するものであるが、これは人間の意志とは無関係である。語源的な意味からいえばinput energyであるが、これは当初から人間によってinputされたエネルギーという前提で用いられている。人間によって投入されたエネルギーを太陽エネルギーと区別するために補助エネルギーという用語をあてる研究者もいるが、ここでは人間の意志によって投入されたという前提にもとづいて投入エネルギーという語を用いた。

本調査は昭和53年度の文部省海外学術調査助成金により実施されたものである。調査結果のエネルギー換算率に関しては、農水省農業技術研究所の宇田

川武俊氏から有益な助言をいただいた。ここに記して深謝の意を表明する次第である。

## 2. 調査の方法

イラン国立土壌研究所の支所がおかれている都市を歴訪し、支所職員の支援を得て都市周辺部の農村の聞き取り調査をおこなった。予め用意した調査票を示して、これをペルシャ語で質問し、さらに英訳した返事をもらうという作業であった。調査期間(1978年6月～8月)は国内状況がすこぶる不安であり、調査にあたっては秘密警察の監視の目も意識されたが、各支所の職員からは熱心な協力をいただき、不自由な言語環境ではあったが所期の目的を達成することができた。

とくに懸念されたのは、農民の記憶のあいまいさによって調査の精度が著しく低下するのではないかということであったが、独特の金銭感覚を持つペルシャ農民であるので、支出した金額についての記憶はかなり正確であり、購入資材、トラクターの賃借り時間、かんがい水の代金などはよどみのない返答がかえってくるのにかえって驚いたくらいであった。ただ、自家労力の使用についてはあいまいな点を感じたが、これはその地方での慣行的な農作業の能率を予め調査しておくことで補った。

## 3. 調査地域での作物栽培の概況

小麦栽培について調査した地域はタブリツ、レザイエ、シャブール、イスハハン、ザボール、ケルマン、カラザである。水稻についてはシャブールとイスハハンを調査した。結果を述べる前に各調査地域における両作物の栽培概況を述べておきたい。

〔タブリツ、レザイエ地方〕この地方は、トルコ・ソ連に国境を接する丘陵地帯で、典型的なdry farmingの地帯である。年降水量300mmの雨量は10月から4月に集中している。10月に播種して7月に収穫する。そして、その後1～2年休閑をおこなう。15年くらい以前から牛耕から次第にトラクター耕に移行し、現在では耕起はトラクターでひくdiskプラウでおこない、しかも、大部分は貸ずきである。

以前は2頭立ての牛ですき起し、播種をしたのちMangirというハローをかけて、覆土をおこなった。

これに ha 当り 4 日を要した。そして、5 日かけて収穫し、運搬に 1 日、脱穀 3 日程度を費した。以上が伝統的な農作業の大要であるが、現在では秋に 7～8 時間をかけて耕起と覆土をおこない、手刈りした麦を一個所に集めて 2 時間くらいトラクターの車輪で踏んで脱穀をおこなうか、あるいは動力脱穀機で脱穀している。人力を最も多く要するのは収穫であって、地上 20cm くらいのところを鎌で刈りとり、ロバで集落まで運搬するのが一般的である。刈株はそのまま放置され、これが自然に倒れて有機質を土壤に補給することになる。休閑期間に夏耕はやらない様である。

播種直前に disk プラウをかけ、人手で種子を散播する。能率は 1 日 5 ha くらいである。農民の話によると、木製の犁だと深くすき起すことができなかった。次に鉄製のプラウを牛にひかせたが、これは深耕ができたが能率が落ちた。現在の賃ずきは能率よく 25cm くらい起こせる。小麦の収量は深耕とともに向上した。しかし、雨量によって収量が左右されるので、小麦作りは天気まかせということになる。その理由は、たくさん種子を播けば収量も多いが、もし雨が少ない年だと、多く種子を播いた畑の収穫はかえって少ない。だから、種子は少なめに播いた方が安全である。

小麦にかんがいをおこなえば、水不足が解消されるので、立毛を多くしてもよい。したがって、施肥することができる。肥料はリン酸アンモニウム (N-18, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-46%) と尿素 (N-46%) が主体であって、カリは施さない。かんがいは 1 時間 220 リアルの水代を支払わなければならない。時期は出穂から登熟期で、5 月 20 日頃第 1 回のかんがいをおこない、その後 2 回 20 日間隔でかんがいをす。水源はカナートとポンプ井戸が主力であるが、平坦な地形でないと実施できない。丘陵地はすべて dry farming の地帯であって、これがトルコ、ソ連にまで続いている。特に印象的であったのは小麦の収穫後、生えている雑草をたんねんに集め、一もちろん休閑地に生えていて羊の食い残したのものまでも一、家屋の周囲に山積して冬期の羊の飼料としていることであつた。この地方の雑草はすべて家畜に利用されるといっても過言ではない。

〔シャブール地方〕イラクとの国境附近で、チグリス・ユーフラテス流域の平野に連なる大平原地帯である。アラブ系の住民が多く農民にはペルシャ語が通じないので、アラビア語で話せる人に通訳を頼んだ。村落共同体的色彩が強く、農作業は共同作業である。例えば 40ha の農地を借りしたトラクターで 3 日間すきおこし、3 日間で小麦を播種し、収穫にはこれも借りりのコンバインでもって 3 日かけて収穫している。小麦は 50kg を 600 リアルで販売している。化学肥料は与えないが、かんがい可能な農地は河川より取水してかんがいをおこなう。しかし、河川の水は塩分濃度が高く塩積がすすむ。栽培期間は 11 月から 4 月までである。

塩積のすすんだ畑には除塩をかねて水稲を栽培する。栽培期間は 6～9 月の 4 ヶ月間である。水路造りと播種 (散播) に 40ha 当り 20 人を要する。除草は水路の見廻りをかねて毎日 30 分程度、拾い草をおこなう。収穫後のワラは牛の飼料として利用する。かんがい水深は約 20cm くらいであり、この深水が雑草の発生を抑えている様に見受けられる。また、発芽むらのせいか栽植密度にかなり大きなばらつきがあり、耕地が有効に利用されていない。小麦と同様に水稲も無肥料栽培である。

〔イスハハン地方〕わが国の京都にも比すべき古い都市で、市街を貫流する河川の水でかんがい農業をおこなう。周辺の農地の整備状況は良好で、平坦な農地が広がり、水路と小さな畦で耕地が仕切られている。他地方とは異なり小麦のうね立て栽培が一般的である。河川の水は塩分をやや多く含み、長い年月の間に塩積が進行している。新しく開拓された農地 (塩積によって放棄された農地を再利用したもの) ではポンプ井戸によるかんがいが盛んであるが、地下水も塩分濃度がたかく、畦間に塩が白く折出しているほどである。この塩分を除くため除塩かんがいをおこない、その水を河川に棄てるので、河川下流の塩分濃度が高まり、新たな問題を提起している。これに比べて、古くより使われているカナートの水質は良好で、ほとんど塩積問題はないが、水質が良いだけに都市飲料水としても利用され、農村と都市とをめぐって水の争奪が激化しているようである。

イスハハン地方は資本も豊かな大農場経営がおこなわれており、化学肥料もかなり多量に使用されている。一部には飛行機による農薬散布がなされているほどである。全般的にみれば都市周辺には園芸地帯、その外周には小麦地帯が分布し、さらに離れた山間部の谷間ではダムから送られた水で水稻栽培がおこなわれている。ここでの水稻栽培はシャブール地方とは異なり、かなり集約度の高いものである。すなわち、乱雑植えではあるが移植栽培であり、人糞の乾燥したものと家畜糞の乾燥したものととの混合物が有機質肥料として施用され、化学肥料も併用されている。明らかに根ぐされの特徴とみられるゴマ葉枯病が多発しているが、常時約20cmの深水かんがいをおこなっているため、中干しをおこなうことが困難である。ここでもやはり、雑草の発生を抑えるために深水としている。将来、水稻の収量を上げるためには中干しの必要があるが、そのとき除草という問題が表面化し、同時に乱雑植えから正条植えへの移行が課題となるであろう。

〔ザボール地方〕アフガニスタンに国境を接する地域であって年降水量は100mm以下。イランにおける辺地である。ザボールは交通の要路にあり、古代は栄えた都市であったが、農村地帯の荒廃により次第にさびれてきたといわれている。かつての繁栄はPARIAN河の水によるかんがい農業によって、他地域とは比較にならぬ高い土地生産性に支えられていた。しかし、永い年月にわたるかんがい農業は、耕地に塩積をすすめてきた。これは乾燥地大陸を流れる河川の宿命といえよう。現在では塩積によって、ha当り種子量150kgに対し収穫は300kgという著しい低収耕地さえ出現している。

この地域での小麦栽培の実態を紹介すると、播種は7～9月になされ、3～4月に収穫される。牛による犁耕はほとんどなくなり、60～70馬力のトラクターでひかれるdiskプラウで耕起されるが、深耕すると底部の塩度が表面に出るために深耕はできない。小麦栽培の標準的な農作業の内容を述べると次のとおりである。

- ① 1日かんがいで土を軟かくする。
- ② トラクターでdiskingをする。賃借りで能率は1時間当たり1ha。

- ③ 5～6日かけて土地を均平にし、畦を作る。
- ④ 播種、能率は2時間/ha。
- ⑤ かんがいは通常4回おこなう。
- ⑥ 手刈り収穫、7日/ha。
- ⑦ 小型脱穀機で脱穀する。能率は1時間当たり1ha。

一部では化学肥料の施用がおこなわれているが、塩害のため収量水準は極めて低い段階にある。

〔ケルマン〕内陸部沙漠周辺にある町、年降水量100mm程度、この地方は塩類集積に起因するアルカリ土地帯である。小麦はかんがい栽培が主力で、一区5a以下の小さな区画で水盤法かんがいが実施されている。一見平坦に見える地形であるが、小起伏が多いため水盤法が採用される。そのため、発芽不良や湿害によって耕地に空白が多い。播種前にトラクターで引くdiskプラウで1日かけて耕地の全面を畦を含めて一挙に耕し、播種、施肥をしたのち再びdiskingによって覆土する。そして、地形に見合った畦を作り、次にかんがい水を引くといった手順である。収穫はコンバインの賃借りによるものが主力である。無除草であるためかなり雑草が多いが、大部分は荳科のものであって、なにがしかのN固定をおこなっていると推定できる。

雨量が少ないためカナートによるかんがいで小麦を作っていたが、最近はポンプ井戸が増えてきた。しかし、水質が悪く土壌のアルカリ化はすすむ一方である。かんがい農業であるが休閑期を設ける場合が多い。しかも、休閑期にかんがいをおこない塩分を地下におし下げるとともに雑草の発生をうながし、そこに羊を放牧している。雑草の発生が地力回復に役立っているものと考えられる。アルカリ化がすすみ小麦が育たなくなった畑はピスタチオ園に造りかえられている。

〔カラジ〕首都テヘラン効外50kmの地点にある町。テヘラン市へ供給する水道水の水源地に近く、山脈から流れ出る良質の水をかんがいに利用するので塩積問題はおこらない。イランではイスハハン効外とらんで最も機械化のすすんだ農業がおこなわれている。耕地の整備状況は良好で、地下水の水質もよく、あらゆる作物がかんがいされている。小麦栽培の技術はすすんでいるが、園芸作物の栽培技術につ

第1表 生産に投下したエネルギーの算出基準<sup>2)</sup>

No.	種 目	算出単位 (kcal)	備 考
1	労 働	544/ha	3,110/day
2	農業機械	20,712/kg	トラクタ 4.5 ton, プラウ 1.3 ton, ディスクハロー 2.5 ton, カルチベーター 1.4 ton, プランタ 2.5 ton 施肥機 0.9 ton, コンバイン 2 ton トラック 1.5 ton, 自動車 1.0 ton その他 1.0 ton
3	肥 料	N : 15,180/kg P : 3,200/kg K : 2,200/kg	
4	農 薬	24,200/kg	殺虫, 殺菌, 除草剤
5	ポンプ※ かんがい	26,000/100m <sup>3</sup>	口径4吋のポンプで、揚程20mの地下水をくみ上げる。 ディーゼル・エンジンで軽油を使う。
6	畜 力	20,000/day	体重300kgのOX (去勢牛)
7	燃 料	10,000/kg	ガソリン
8	種 子		第2表に記載

(注) ※備考のごとく著者が推定した。

いてはイスハンの農民よりも劣るらしく、イスハハン農民が農地を借りてウリ類の栽培をしているのが目立った。こうした例は冬期の暖かなシャブール地方においても広くみられた。

#### 4. エネルギー収支

a. 生産に関与する諸要素のエネルギー換算単位  
既述のとおり本調査は小麦と水稲の生産に要したすべての労力、資材、機械力をエネルギーに換算して、それと収穫物として得られたエネルギーとを比較するのを目的としている。そこで、まず問題としなければならぬのは生産に関与する諸要素のエネルギー換算率である。幸いにして、この様な前例はすでにいくつかあり、エネルギー換算率も示されている。研究者によって採用する換算率は必ずしも一致をみていないのであるが、ここでは Pimentel (1977) の論文のものを大部分準用し、それに若干の修正を加えて使用した。

第1表に Pimentel 論文の算出基準をまとめてかかげた。ただし、ポンプかんがいについては、イランでの実状をふまえた上で著者が表のごとくに決め

た。その内容は次のとおりである。すなわち、口径4吋のポンプを用いて20mの揚程で水を汲み上げるとき、吐出速度 1.2m<sup>3</sup>/min であるとする、100m<sup>3</sup>に1.39時間を要する。このとき使用するディーゼル・エンジンは8.9馬力であり、使用燃料として軽油 2.88ℓ (2.45kg; 比重0.85) を使用するとしてカロリーに換算した。また、種子中の単位重量をカロリーに換算するには、小麦 3,300kcal/kg とし、水稲

第2表 エネルギー換算表

項 目	換算単位 ×10 <sup>3</sup> kcal	備 考
収 量 { 小麦 (種子) 水稲	3.3/kg 3.0/kg	モミより玄米へ換算
人 力	3.0/日	1日8時間労働
化学肥料 { N P	15.2/kg 3.2/kg	第1表より 全 上
ポンプかんがい	2.6/mm	全 上
農 薬	24/kg	全 上
畜 力	20/日	全 上
トラクター	60/hr	燃料消費より (65Hp)

はモミ収量をカロリー換算するために  $3,000\text{kcal/kg}$  と決めた。トラクターに関しては、本来ならば耐用年数を考慮したうえで、機械の製作に要したエネルギーも計算に入れるべきであるが、本調査の場合はほとんど賃借り使用であるために、耐用年数と機種が不明である。そこで、多くの場合  $60\sim 70$ 馬力のトラクターであることより、燃料消費率を  $0.10\sim 0.13$   $\ell/\text{馬力}/\text{時間}$  とし、1時間当たり  $60,000\text{kcal}$  とした。以上の様にして定めたエネルギー換算率は第2表のとおりであって、これを本調査結果に適用した。

#### b. 小麦生産のエネルギー収支

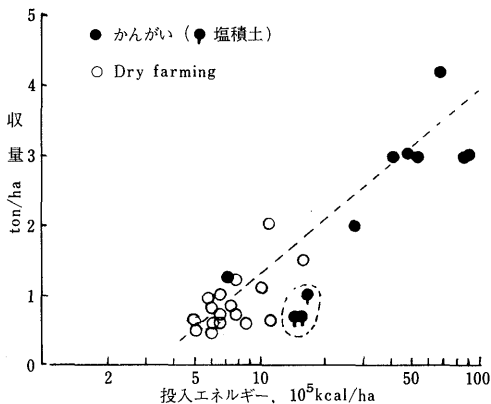
小麦栽培に投入した労力、資材、機械力とそれらをカロリー換算した値は第3表(その1~3)にまとめた通りである。各地域における1点の調査は1戸の農家のものである。したがって、栽培面積も区々であり、 $0.5\text{ha}$  から  $100\text{ha}$  までの農家を含んでいる。収量の変動も大きく  $600\text{kg}/\text{ha}$  程度から  $4,000\text{kg}/\text{ha}$  に及ぶ。一方、全投入エネルギー量は dry farming が少なく、ポンプかんがいが多くなる傾向を示している。既述のとおり、かんがいをおこなうことによって、施肥が可能となるので、肥料とかんがいに要するカロリーが加算されるために、後者の投入エネルギーが大となるのである。

ここで、投入エネルギーと収量との関係を見るために第1図をかかげた。(同図のx軸は投入エネルギーを対数で表示してある)。収量は投入エネルギーの対数に正比例的であることがわかる。ただし、図中

で破線で囲んだものは塩積地のものであり、かんがいによる収量の向上が期待できない。これらは、かんがいによって塩分を地下に押し下げる効果をねらっている様に観察された。水分補給というよりも塩害回避的性格の濃いかんがい農業である。

第1図で明らかなおと、投入エネルギーは最低  $500\times 10^3\text{kcal}/\text{ha}$  より最高約  $90,000\times 10^3\text{kcal}/\text{ha}$  の範囲では、収量は投入エネルギー量とともに増加する。いっぽう、投入エネルギーの効率を示す産出/投入エネルギー比(第3表のA/B)と収量との関係は、第2図の如くである。収量が  $500\sim 1,000\text{kg}/\text{ha}$  の範囲では産出/投入エネルギー比(E R : Energy Ratio)は1.5から6.0附近にまで分布し、大きな変異を示している。一般に dry farming 地帯は山岳部ないし丘陵地に多く、この地形のところは概して局地的に雨量が異なる。また、畑の傾斜度および位置(山頂か山麓)によっても有効水分の保有量と地力とが異なる。dry farming の立地に恵まれた畑での収量は  $1,000\sim 2,000\text{kg}/\text{ha}$  にあり、しかも投入エネルギー量は立地の悪いところと大差がないか、あるいは、運搬労力などは少なくすむ場合が多い。この様な事情の反映として収量が多ければERが高まるのである。

冒頭で dry farming の永続性に言及したが、立地に恵まれるならば最少の労力で大きな効率を生むこの農法の特徴が数字のうえからも、はっきりと把握することができた。また、カナートあるいは河川水に頼るかんがい栽培は意外と低収であるため、ER比は dry farming をぬきだすことはなかった。河川水は塩積をもたらすので古い栽培地域では収量が低下の傾向にあることはすでに述べた。カナートは山麓部の地下水をトンネルで平野部に導くので、概して水質は良好である。しかし、平野部とはいっても緩傾斜の地形に小区画の水盤法かんがい圃場をつくる場合が多く、湿害の発生によって芽立ちが悪くて、耕地が有効に利用できていない。乾燥地土壌の常として、かんがいをされた耕地が乾くと大きな亀裂を生じる。幼植物のときに亀裂の発生によって根を切断されるのは、作物にとっては致命的な被害をうけることになる。土面亀裂の防止のために、かんがいを絶やすことができず、それが湿害を招来するという



第1図 小麦栽培における投入エネルギーと収量との関係



第3表 小麦栽培に投入した労力、資材ならびにエネルギー (cal ; 10<sup>3</sup>kcal/ha) (その3)

調査地域	シャブール		シャブール		ザボール		ザボール		ザボール		イスハハン		イスハハン		イスハハン	
	実数	cal	実数	cal	実数	cal	実数	cal	実数	cal	実数	cal	実数	cal	実数	cal
栽培面積 (ha)	30		40		24		1		40		20		70		25	
収量(A) (kg/ha)	500	1,650	750	2,475	1,250	4,125	650	2,145	700	2,310	3,000	9,900	2,000	6,600	4,200	13,860
種子量 (kg/ha)	95	314	100	330	100	330	150	495	120	396	300	990	300	990	300	990
人 力 (日/ha)	5.4	16	3.2	10	68	204	19	57	24	72	13.4	40	2.5	8	11.6	35
畜 力 (日/ha)	2.5	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
有機質肥料 (kg/ha)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3m <sup>3</sup> *	—	—	—	—	—
化学肥料 (kg/ha) { N	—	—	—	—	—	—	50	760	50	760	50	760	30	456	45	684
(kg/ha) { P	—	—	—	—	—	—	—	—	20	64	50	160	40	128	40	128
かんがい水量 (mm/ha)	—	—	—	—	2,000 <sup>R</sup>	—	1,000 <sup>R</sup>	—	500 <sup>R</sup>	—	125 <sup>P</sup>	325	150 <sup>P</sup>	390	250 <sup>P</sup>	650
農 薬 (kg/ha)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	24	?	—	2	48
トラクター (時間/ha)	2*	120	4+1.2*	312	3	180	2	120	3	180	51.2	3,072	13.5	810	68.8	4,128
投入合計(B)		500		652		714		1,432		1,472		5,371		2,783		6,663
A/B		3.30		3.80		5.78		1.50		1.57		1.84		2.37		2.08
備 考	※コンバイン		※コンバイン				塩積土		塩積土		※人糞尿		? 飛行機より			

第4表 水稻栽培に投入した労力、資材ならびにエネルギー (cal ; 10<sup>3</sup>kcal/ha)

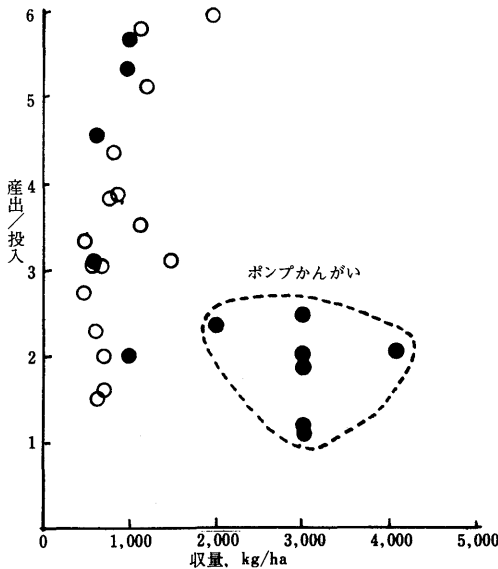
調査地域	シャブール		シャブール		シャブール		シャブール		イスハハン		イスハハン		イスハハン	
	実数	cal	実数	cal	実数	cal	実数	cal	実数	cal	実数	cal	実数	cal
栽培面積 (ha)	20		3		40		50		1		1		1	
収量(A) (kg/ha)	1,500	4,500	1,600	4,800	400	1,200	500	1,500	2,250	6,750	2,000	6,000	1,900	5,700
種子量 (kg/ha)	150	450	200	600	150	450	150	450	200	600	200	600	200	600
人 力 (日/ha)	25	75	20	60	7.7	23	8.1	24	110	330	75	225	75	225
畜 力 (日/ha)	1.5	30	1.5	30	4.8	96	4.8	96	70	1,400	50	1,000	20	400
有機質肥料 (kg/ha)	—	—	—	—	—	—	—	—	3,000	—	3,000	—	3,000	—
化学肥料 (kg/ha) { N	—	—	—	—	—	—	—	—	20	304	35	535	50	760
(kg/ha) { P	—	—	—	—	—	—	—	—	30	96	20	64	50	160
かんがい水量 (mm/ha)	※	—	※	—	※	—	※	—	※	—	※	—	※	—
農 薬 (kg/ha)	—	—	—	—	—	—	—	—	2	48	1	24	0.5	12
トラクター (時間/ha)	3	180	3	180	10	600	2.4	144	—	—	—	—	80 <sup>a</sup>	480
投入合計(B)		735		870		1,169		714		2,778		2,448		2,637
A/B		6.12		5.52		1.03		2.10		2.43		2.45		2.16
備 考	※常時15cm湛水 河川より取水		※常時20cm湛水 河川より取水		※常時20cm湛水 河川より取水		※常時20cm湛水 河川より取水		※常時10cm湛水 河川より取水		※常時10cm湛水 河川より取水		※常時20cm湛水 河川より取水	
	a: 小型トラクター(第2表の1/10)													



悪循環が成立するのである。この悪循環を断ち切るための方策として畦立て栽培が考えられるのである。現にイスハハン郊外ではこうしたやり方で高い収量をあげている（第3表参照）。

畦立て栽培を可能にする前提条件は、広い平坦な圃場である。ところが、カナートに依存する地域は緩傾斜地が多いため、広いテラスを造成しなければ上記の前提条件を満すことができない。テラス造成には多量の土の移動が必要であり、有効な労働手段の確保と、土地所有関係の調整がなされていなければならぬ。また畦立て栽培あるいは条播は除草を可能にするのであるが、小区画の水盤法ではバラ播き以外には方法がなく、農法を新展開させる芽が全く摘まれていると言えよう。イラン農業にとって、持続性と土地生産性の両全が期待できるのは、水質のよい山麓地域の農業であると考えられることができるが、この地域の農地の基盤整備は上述の理由ですすんでいない。今後は土地改造の方向へ機械力を投入することによって、発展の可能性を現実のものとするのであろう。

さて、小麦単収とエネルギーの産出/投入比（ER）の関係を示した第2図では破線で囲んだポンプ



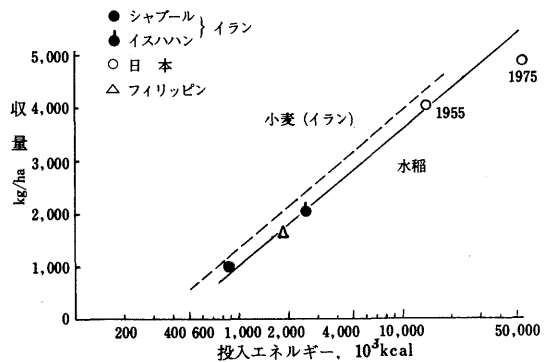
第2図 小麦収量と産出/投入エネルギー比  
○：Dry farming, ●：かんがい栽培

かんがいによる小麦の収量は2,000~4,000kg/haであって、いずれもdry farmingよりは収量がたかい。しかし、ERの最高値は2.5附近にまで低下しており、最低値は1.1のものもある。このER 1.0近いものは、タブリツの農家で栽培面積が0.5haと少ないうえに、水を遠方から引いているため、合計3回おこなうかんがいの度に水路を作り直す必要があり、その度にトラクターを使うので、いきおい投入エネルギーが多くなったものである。この2点を除けば、ポンプかんがいによる小麦のERはほぼ2.0台を維持しているとみなせよう。だが、第1図の関係および Stanhill (1974) のイスラエルにおける調査結果などからみて、将来投入エネルギーが増して収量はふえても、ERは低下していくものと考えられる。

c. 米生産のエネルギー収支

イランにおける米の主生産地は雨量の多いカスピ海沿岸であるが、それ以外の乾燥地でもかんがい水に恵まれた地域では栽培がみられる。しかし、面積的には極めて少なく、また、栽培技術も低い。われわれは小麦栽培のエネルギー収支を調べるかわら水稻栽培の実情を調査する目的をふくめて、そのエネルギー収支をも調査した。

調査結果は第4表にまとめてかかげてある。調査地点はシャプールとイスハハンであって、前者は直播による粗放栽培であり、後者は移植であって、やや集約化がすすんだ段階にあるといえる。収量にも両地域で大差があり前者は平均1,000kg/ha、後者は平均2,000kg/haである。調査点数が少ないので

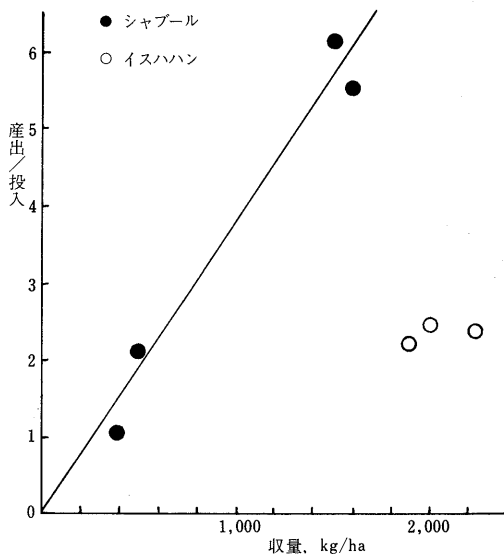


第3図 水稻栽培における投入エネルギーと収量との関係

両地域の値をそれぞれ平均し、それとフィリッピンおよびわが国の数値を加えて、投入エネルギーと収量との関係を求めたのが第3図である。

第3図で明らかなおり、投入エネルギーの対数と収量との関係は回帰直線上にうまくのっている。ただし、エネルギーの過剰投入とみられるわが国の1975年の値は直線から外れている。興味深いのは、同図に第1図の回帰直線を記入したところ、両直線はほとんど平行している。小麦、水稻両作物とも栽培の集約化、すなわち投入エネルギーの増大によって、収量水準は向上することがわかる。

さらに、イランの水稻栽培における収量とエネルギー収支を第4図でみよう。シャプールの収量4~500kg/haのものはERが1~2の範囲であるが、1,200~1,600kg/haまで収量水準があがると、ERは6附近まで上昇し、dry farmingの最高値とほぼ同じ水準に達する。さらに、イスハハンの様に収量水準が2,000kg/haにあがるとERは平均2.4程度に低下する。もし、かりに水稻の収量が第3図の直線に沿って投入エネルギー量に比例して増加するとすれば、モミ収量4,000kg/haでER比はほぼ1にまで低下することになる。生産に要したエネルギーの効率からいえば、第3図の回帰線が示すとおり、水稻よりも小麦の方が高いことになる。この様な視点で生産に要するエネルギー効率を作物間で比較するためにPimentel(1977)と宇田川(1978)の論文



第4図 水稻収量と産出/投入エネルギー比

からいくつかの数値をぬきだして作成したのが第5表である。

第5表でERの最も高いのはキャッサバ(26.9)で、次いでソルガム(14.2)、とうもろこし(10.0)と続く、これらの作物は耐乾性があり、かつ収量の絶対値の高い特性を持っている。つまり、不良環境に耐えて、なおかつ、適当な管理がなされたとき高い限界収量値を示す作物がエネルギー効率が良いと

第5表 各国における作物収量と投入エネルギー量

国名	作物	年代	収量	投入エネルギー ×10 <sup>3</sup> kcal/ha	ER
U S A	とうもろこし	1945	2,132	7,419	3.04
U S A	とうもろこし	1975	5,394	18,771	2.44
Mexico	とうもろこし	1951	1,944	6,765	10.02
Mexico	とうもろこし	1976*	941	3,275	3.34
Sudan	ソルガム	1976*	900	2,970	14.15
Sudan	キャッサバ	1965	5,824	19,219	26.88
India	小麦	1976*	821	2,709	0.98
Philippines	水稻	1976*	1,654	1,842	3.26
日本	水稻	1975	4,810	54,510	0.61
日本	小麦	1975	2,690	20,790	0.88

(注) \*年代は文献の発表年

ER: kcal return/kcal input

いえる。小麦と水稲は人類の食物としてとくに好まれ、広い分布を示すのであるが、両作物とも収量の最高値は同じイネ科作物のトウモロコシ、ソルガムよりは低いとみなされている。しかも、栽培にあたって土地条件の整備を要求する。水稲は小麦よりも一段とかんがい施設の強化が必要であり、かつ水田という環境は機械の運行には不適当であるので、それがエネルギーの効率を低下させる原因となっていることを指摘することができる。一方、キャッサバ、トウモロコシ、ソルガムは収量が高いだけに地力収奪のはげしい作物であるので、化学肥料の使用なしには永続的に高収量を維持することは困難であろう。また、病虫害の面からみて適切な輪作をおこなうことが望ましく、輪作物のエネルギー効率までを考慮した長期的な視点にたてば、異なった評価のできる可能性もある。また、Steinhartら(1974)のように、生産から調理までも含めて食糧生産システム全体のエネルギー経済を評価する試みも今後に残された課題である。

## 5. む す び

エネルギー問題はたんに農業にとどまらず、今後人類が直面する大問題であって、エネルギーの有効利用は至上命令であるといえる。他方、激増する人口に見合った食糧を確保するには、農地面積が有限である以上、単位面積当たりの収量を向上させなければならない。本調査結果でも明らかとなっており、収量は投入エネルギーに比例して増加するが、そのエネルギー投入量は指数関数的でなければならぬところより、エネルギーの効率はますます低下していく

宿命を背負っている。この傾向を解消できないまでも、緩和する方向としては投入エネルギーを土地改造にふりむけることが考えられる。農地の条件をよくし、かんがい、排水の機能を強化することが単収の増加に結びつくことはすでに多くの事実で明らかにされている。そして、それは栽培の粗放から集約化への前提条件ともなり得るものである。また、投入エネルギー量が同じであっても、地力の有無によってエネルギー効率が大きく左右されることも明記しておかねばならぬ事柄である。

## 6. 引用文献

1. Pimentel, D., L.E. Hurd, A.C. Bellotti, M.J. Forster, I.N. Oka, O.D. Sholes, and R.C. Whitman. 1973. Food production and the energy crisis. *Science* 182: 443-449.
2. Pimentel, D. 1977. Energy and food. *Ann. Rev. Energy.* 2: 171-195.
3. Stanhill, G. 1974. Energy and agriculture. A case study agro-ecosystem. 1: 205-217.
4. Steinhart, J.S. and C.E. Steinhart. 1974. Energy use in the U. S. food system. *Science* 184: 307-316.
5. 津野幸人, 1977. イランの風土と農業. 海外農業シリーズ No.5. pp.7 農文協.
6. 宇田川武俊, 1976, 水稲栽培における投入エネルギーの推定. *環境情報科学*, 5(2): 73-79.
7. 宇田川武俊, 1978, 農業生産とエネルギー, *農業気象*, 33(4): 199-207.