

肥料と土壤肥沃度・地力についての考察

熊澤 喜久雄*

目 次

まえがき

1 肥料と土壤肥沃度

2 日本における地力論議

2-1) 地力増進に関する総合研究

2-2) 日本の地力—技術的・経営的解明

2-3) 農林省図書館編：農林文献解題「地力問題編」

2-4) 地力増進法解説

2-5) 望ましい耕地管理—地力の研究会報告

3 地力低下についての近年の実態報告

3-1) 水田土壤の地力低下の実態とその対策

3-2) 全国各地の水田地力に関する報告

4 地力をめぐる論議

4-1) 19世紀における土壤肥沃度に関する考察

4-2) 現代における土壤肥沃度・地力に関する考察

5 地力概念についての整理

5-1) 自然的肥沃度と経済的肥沃度

5-2) 自然的肥沃度（自然地力）

5-3) 経済的肥沃度（経済地力）

5-4) 自然的肥沃度（自然地力）と経済的肥沃度（経済地力）の相互浸透関係

5-5) 地力とは

あとがき

* 東京大学名誉教授・公益財団法人肥料科学研究所名誉理事長

まえがき

地球上に生命体が発生し、長年月をかけて、光合成や窒素固定作用を営む生物の発生と進化、岩石の風化、土壤の生成発展等が進行してきた。自然と多様な生物との共生関係が、大気圏、土壤圏、水圏、生物圏の間の物質循環過程を基礎にして発展してきた。

人間社会の発展の最終段階における農業の発明と発展は、物質循環過程の合理的理解と利用に関する知識を増大し、人口の増大に伴う食糧の生産供給を可能にし、同時に文化文明の発展、都市の繁栄と工業社会の発展を導いた。

現代社会の発展の基礎が農業による食糧、生活資材の供給力にあることは、歴史の教えるところであるが、その農業の発展は地球上における円滑な物質循環過程が持続的に維持されること、具体的には土壤の植物・作物の生産能力が維持、発展することにより保障される。

土壤の植物生産能力は古来より地力として認識され、人力を超えたその自然力を如何に利用し、維持向上させるかに心が費やされ、現象の観察、知識の向上がされ、地質学、博物学、植物学、動物学、化学などの諸科学が発展し、それらの成果をもとにした現象理解と技術改良がなされてきた。その基本である地力に関する認識の発展も、様々な分野において、進行してきたが、現在でも地力の低下が問題とされ、農業の基本問題として論じられている。

本稿では、我が国における地力問題に関する多くの論議を回顧し、現段階での地力問題、あるいはそれと不可欠な肥料施用問題を総括的に整理してみたい。

なお、本文中では敬称等は省略させて頂いた。

1 肥料と土壤肥沃度

肥料

地力を維持向上させるために、使用されてきた主要な手段は肥料の施用であるが、わが国において古来より使用されてきた肥料に関することばを拾っ

てみると次のようなものがある。

古事記には「尿くそに成れる神・・・・尿ゆまりに成れる神」の名があげられ、播磨国風土記讃容郡の記事に「生きた鹿を捕り臥せ、其腹を割りて、其血に稲を植えたところが、僅か一夜で苗となった」という意味のことが書かれているが、人尿、乾血などの動物質肥料の使用は古くからあった。

江戸時代は「こやし」「こえ」と呼称され、漢字は「糞」「肥」が用いられたと見てよい。農事常語(1805)では「肥料」「肥」が使用されている。これは中国三大農書の一つ「農政全書」の記述によるものと思われる。

農書にみる肥料の呼称を拾ってみると次のようなものがある¹⁾。

清良記(1629~54)：こやし、糞こやし、こへ。農事弁略(1733?)：肥、糞、こえ、人糞、人ふん。百姓伝記(1681-83)：こやし、こえ。会津農書(1684)：田養(田の肥料)、畑養(畑の肥料)下糞(人糞)、こやし。農業全書(1697)：糞こやし、糞養ふんよう。農事常語(1805)：肥料、肥。農業捷徑抄(1808)：肥し、土肥こやし、下糞。家穡考(1817)：糞。神門出雲楯縫郡反新田出情仕様書(1820)：肥。農業余話(1828)：肥培こえ、糞こえ。農家肥培論：(1832)糞壤、肥壤、肥。綿圃要務(1833)：肥こやし、肥こえ。培養秘録(1840)：肥糞、糞肥。農業自得(1841)：こひ、敷こひ、灰こひ。家業伝(1842)肥こえ。広益国産考(1859)肥こやし、肥こえ。

農書にみる肥料の役割：このような肥料、肥やしの役割について、代表的な農書では次のように記述している。()内の数字は農文協版の該当ページ。

百姓伝記：「あしき田地をよくするは、土民のわさなり。」(巻9-131)

農業全書：「薄田を変じて、良田となし、瘦地を、肥地となす事は、これ糞のちからやしなひにあらざればあたはず。」(91)「地の力衰へよはりて、発生の気乏きゆへ、糞養をよく用ひ、地力ちりきを助けて常にさかんにせずは、いかんぞ、秋の収め思ふやうならんや。」(92)

農業余話：「こえの力不足にて土地の力及ばぬ故、発生の気弱きに・・・」(262)「土地の力と肥培の力と相応ずれば、・・・」(263)

(4) 肥料と土壤肥沃度・地力についての考察

家業伝：「地肥与申草類亦者、くまし（厩肥）等の肥、冬春に多可用置・・」（31）

培養秘録：「地力弱過たる田畑は、共ニ作物を生熟すること易からず」（221）「田畑を培養し、其土地を能肥して、諸作物を十分に豊熟せしむる糞草は、活物より良なるはなし・・」（240）

農事常語：「肥を大事にすれば痩せ田を上田とし、瘦地が沃地になる事なればなり」（356）

このように、わが国においても昔から肥料は「こやし」と呼ばれ、地力を回復し、土地をこやすために使用されていた。

麻生慶次郎博士は肥料の定義にはいろいろな異説があることを認識した上で次のような定義をされている（肥料学講義、東京農業大学出版部）。すなわち「肥料とは土に施用して収穫を増進する物件なり」。

また肥料が土壤中において作物の収穫を増進する作用を四つの事項に整理され、次のように記されている。

- 1 土壌に加える物質は農作物生育に対して直接に栄養分になること。
- 2 土壌に加える物質は直接に作物の養分とならざるも、土壌中に於いて諸種の化学的反応を惹起し、直接植物に吸収せられ難かりし物を、吸収され易き形態に変わる作用あること。
- 3 土壌中の微生物の作用を促進し、農作物の生育を良好ならしむること。
- 4 土壌の理学的性質を改良する作用あること。

斯の如く肥料の効能は単に其中に含まるる、植物栄養分のみによるにあらずして、之を土壌に施して後起るべき、化学的、理学的、及び生物的作用も考えて定むべきものなり。

現在においてもこの考え方はそのまま広く受け入れられているが、「肥料の品質等を保全し、その公正な取引と安全な施用を確保するため、肥料の規格及び施用基準の公定、登録、検査等を行い、もって農業生産力の維持増進に寄与するとともに、国民の健康の保護に資すること」を目的」としている現行の肥料取締法上における定義すなわち「肥料」とは、「植物の栄養に供

すること」または「植物の栽培に資するため土壤に化学的变化をもたらすことを目的として土地に施されるもの」及び「植物の栄養に供することを目的として植物に施されるもの」は肥料概念の一部分を示すのみである。この肥料と「土壤に施用し、土壤の物理的性質、化学的性質あるいは生物的性質に変化をもたらして、農業生産に役立たせる資材」としての土壤改良資材を含むものが麻生の肥料にあたとみて良い。

いずれにせよ「肥料とは土を肥やすものである」ので、次に問題となるのは、「肥えている土」あるいは「肥沃な土壤」を比較表現する言葉としての「土壤肥沃度」や「地力」である。

土壤肥沃度

植物生産の側からみた場合、土壤は植物の生育に関して必要な諸条件を満足させることが要求される。すなわち、植物の生育を支えるための適度の硬さと深さを持った作土や心土、十分な水・空気及び植物栄養分の供給、あるいは適当な土壤反応で有害因子のないことなど。

これらの条件に対する植物の要求は、植物の種類、生育時期などにより様々に変わり得るが、それらの要求を十分に満足することのできる土壤が肥沃な土壤である。良く肥えている土壤は土壤肥沃度が高く、植物生産性が高く、地力も高いものとして認識されている。

土壤肥沃度と土壤生産力

土壤肥沃度は土壤の置かれている一定の気象条件下において、また適当な農業諸技術の行使のもとに、作物を栽培する際に発揮される。その結果は作物の収量として現れる。

特定の土地における作物の収量として、土壤肥沃度が発揮された場合、それは量的な表現形態をとり、土壤生産力 (Soil Productivity) と呼ばれる。すなわち土壤肥沃度は土壤生産力を通じて把握され、認識される。

慣習的に使用されている「地力」は、土壤肥沃度か、土壤生産力かについては、論者によって相違がある。それらを巡り開催された主要な検討会などにおいて、如何なる議論がされてきたかを次章において追ってみたい。

2 日本における地力論議

土壤は作物の生産を支える最も重要な自然資源であるため、その作物生産能力を増強し持続的に維持することは何時の時代であっても重要課題であった。様々な理由により地力維持が困難になり、作物生産が停滞したりすることがあるが、その都度はその要因の探求が行われ、改善とともに次の飛躍のための方策が論じられた。戦後の食料不足時代、食糧増産時代、農業生産性向上時代など、時代時代において、「地力」に関する討論が行われ、概念が豊富になってきた。

2-1) 地力増進に関する総合研究 (1954 日本農業研究所)

本研究会に於いては、太平洋戦争終結後の我が国において行われた、低位生産地改良事業による酸性土壤、秋落ち水田、微量要素欠乏土壤等各種の不良土壤の改良事業の成果の検討過程を経て、より生産力の向上を目指すための理論的整備を行うため研究成果の相互理解が計られた。その内容を目次で見ると次のようである。

(改良局長) 地力因子としてはやはり粘土と腐植の問題

弘法健三：腐植に関する研究の来歴及び水田の生産力増強に関する
腐植の意義

青峰重範：土壤粘土鉱物の分類と地力との関連

奥田東：藍藻と水田の生産力について

石塚喜明：北海道の特殊土壤に対する粘土及び腐植の効果

三井進午：植物栄養と根の環境条件

藤原彰夫：植物生理化学研究の発達

原田登五郎：水田土壤の腐植

江川友治「土壤の粘土鉱物

塩入松三郎：土壤生産力について

塩入松三郎による水田の土壤化学が完成し、その基礎理論に基づき水田の

肥沃度改良が強力に進められる一方で畑土壌を含めての生産力に関する考察が中心課題になった。ここでは、地力の発揮における粘土と腐植、あるいは土壌コロイド研究の重要性が指摘されると同時に、土壌の窒素循環における生物的窒素固定や珪酸問題などが先駆的に議論された。また「活性なものは常に生成・分解しつつあるとして、土壌コロイドに対するケイ酸富化などの仮説的理論も提案された。

なお、この研究会に先立って1950年に「農業及園芸」誌が「土壌肥料の研究」の特集をしているが、その中に、弘法健三：「土壌の生産力について」や野本亀雄：「潜在地力の活用」などの先駆的な論説がある。(後記)

2-2) 日本の地力—技術的・経営的解明 小倉武一・大内 力監修、御茶の水書房、1976

農政研究センターで1974年の研究課題「地力保全」で取り上げ、多数回に及ぶ研究会の結果を「農業構造問題研究」第95、96、98～101号に逐次掲載していた。本書は「地力問題」の重要性に鑑み、この研究会の成果に基づき、新たに執筆されたものである。(小倉武一)

「地力保全」が問題になってきた状況について、監修者の大内 力は「まえがき」において次のように指摘している。「1955年以來の日本經濟の高度成長のなかで、農業労働力の農外への流出が進み、とくに1960年代後半に入って、出稼ぎが広く深く農村に行き渡るにつれて、農業生産については省力化がいわば至上命令になってきたのであるが、それが実は地力維持をおろそかにした、略奪的な農法のうえに立った省力化=労働生産性の向上の追求に墮しているのではないか」「化学肥料のみでは地力はとうてい長期的、安定的に維持できないのであって、有機物の土への還元を怠れば、農業生産がかりに一時的に増大しても、それは地力掠奪の上に咲いたあだ花にすぎないものになる。」

戦後の食料増産時代が終焉を遂げ、1961年には「基本法農政」が発足し、日本農業の「近代化」が政策的に追求され「農業生産の選択的拡大」と「農

(8) 肥料と土壤肥沃度・地力についての考察

業構造の改善」の実施過程において、「地力培養」は全く軽視されてきた²⁾が、その咎めがようやく顕著になり、改めて地力問題の全面的検討がされたのである。

本研究会の詳細な内容については、個々の参加者による発表論文³⁾を参照にする必要があるが、それらの結果を踏まえて、新たに書き下ろされたのが、本書「日本の地力」である。

本書の実質的取りまとめの責任者は当時の農林水産技術会議の研究総務官であった山本毅であり、膨大な研究成果の核心を「第1章 地力の概念とその意義」において記述している。その中で次のような特に印象深い言葉が摘記できる。

「地力とは、作物の収穫をつくり出してゆく土壤の能力であり、人間にとってもっとも重要な土壤の性質である。」

「年々の気象変動の変化を取り去った平均収量は、土壤とそれを取り巻く環境で決められてくる。この平均収量は土壤肥沃度と対応関係にある。土壤肥沃度を变化させる要因は、耕作法の改善、肥料、品種、輪作様式等農業技術を発達させていくものすべてにわたって関連し、働く人間の労働意欲の有無までが関係する。」

「肥料も土壤を肥沃にするためにあるという思想を定着させるべきである。」

「土壤肥沃度は高等植物の光合成生産活動と、その生産物である有機物の土壤微生物による分解との二過程の共役のもとに成立したと考えられ、土壤肥沃度は土壤—作物生態系の概念のうちで把握されるべきである。」

「農業経営的に地力を理解する場合、地力を維持してゆくために、つねに補償をしつづけるという、再生産の理念を持ち込むことが必要である。」

結論的に、地力の養分的性格と機能的、容器的性格の二面的性格が長期的に、かつ安定して発揮できるようにすることが地力維持培養のために重要であるとしている。

これらの内容の理解を含めて、「地力問題の基礎は、依然として土壤肥料学、作物学、農業経済学などを含む農学全般の学問的課題であることを失わ

ない。また現実の問題として、農民の体験、直感は学問上の論議を空転させないためにも重視しなければならない。近代農学百年の歴史において、数多くの困難を打破してきた技術の突破口は、時代の背景をとらえ、農民の体験に深く学びえた農学徒によってのみ開かれてきたことは、今日再び想起されなければならないであろう。」と強調している。

本研究會に於いては、それまで比較的注目されてこなかった点、「地力問題は、学問、技術の問題ではあるが、同時に農政の問題、時の経済・政治の問題であろう。」として農業技術のみならず農業経営の視点からの地力問題の検討がなされたのが大きな特色になっている。

江島⁴⁾は「農業経営にとっては、地力を高めること自体は目的ではない。経営の目的は持続的最高の純収益を挙げることにあり、あるいは、社会経済の変化に応じ経済競争に打ち勝って農業経営を発展させていくことであって、地力を高めることは、こうした経営の目的達成のための手段でしかない。」「地力を形成する物質は何か、ということは生産技術学に任せ、諸物質が作用し合って現れる総合的機能を地力としてとらえようというのである。そして、総合的機能を作物の収量水準だけに準拠するのではなく、収益につながり、いってみれば費用と粗収益の両方に対し影響する仕方に依拠しながら、地力をとらえようというのである。」「農業経営が生産を続行する場合に地力水準を高める場合もあり、また、その現水準をそのままに持続する場合もある。されに一時的には地力を下げるような農業生産の仕方が、かえって収益的である場合も十分に起こり得るのである。」とした。

また農業経営の地力概念として「孤立國」(1826)の中で、農業重学として展開されたチューネンの地力についての考え方(後章でも説明)が紹介された。

すなわち、Eを土地が作物を生育させ生産物を産む収穫力とすると $E = T \cdot Q \cdot H \cdot K$ となる。

ここでTは土壤の顕効度すなわち土壤中の植物養分が収穫物へ移行する割合、Qは土質で肥料すなわち有機質Hを投入したときにそれを植物養分に

(10) 肥料と土壤肥沃度・地力についての考察

変える土壤の作用で土壤に固有の値、K は耕作因子を示し、前作の有無、種類などの諸影響とする。

この式で顕効度と土質の相互作用 $T \cdot Q$ を地力と呼び、土質と有機質の相乗作用 $Q \cdot H$ を肥力と呼んでいる。作物の収穫量は T 、 Q 、 H 、 K の四因子の相互作用で決まり、 T と Q は土壤の属性として、土壤により一定しているため、特定の土壤では H と K を変えることだけが、当該土壤から得られる収量水準を変えることになるという見解である。

江島はさらにチューネンの地力説に依拠して、地力に関する諸概念を次のように規定している。

すなわち、「豊沃度を肥力と地力の相互作用の現象とみる。」「その豊沃度はチューネンの収穫力に該当するが、一般には土壤生産力と称することもあり、またこの豊沃度を地力と呼称することも珍しくなく、さらに地力再生産という場合には、むしろ上述の肥力に対応した地力（狭義の地力）ではなくて、豊沃度を意味する地力（広義の地力）である。」としている。また「地力の経済的二面性」について論じ、「農業経営にとり地力培養は目的でなく、あくまで手段である」とし、さらに「地力は農業労働をめぐる社会的規制を必然的に受けざるを得ず、そのかぎりでは、地力再生産は労働の二面性に規制されるのである。地力は生態学的過程ではなく、労働過程でとらえるのが農業経営の立場である。」地力を再生産理念によって、労働過程で捉えることの理解として、「客土、耕起、碎土、堆きゅう肥施用、除草、中耕、灌排水などの農作業を通じて行う農業労働は、土地の地力水準の高揚として結実する。」と述べている。

さらに「経済的環境条件と地力再生産」に関し、高地価と地力収奪にふれ、「資本性社会では、土地価格が高騰するほど、土地からの収益を高めてゆくのが経済法則にかなった土地用役の運用法である。」「収益性追求が行われるが、その場合には、集約的土地利用にふさわしい地力向上を不可欠の条件とする。しかし他方では、地力再生産の基調を崩し、地力収奪を強めることで、この収益性を求めることも珍しくない。」と述べ、「兼業化が進展する

ほど、地力は相対的にも、ひいては絶対的にも、その水準を低下させてゆく
とみて差し支えない。このことがわが国農業の地力低下となって現れている
とみられる。」と指摘し、「総合的にまとめるならば、最近問題となっている
地力の低下は、単純に有機質施用量が減少したためであるとのみ、割り切る
わけにはいかない。基本的にはわが国農業をめぐる、内部的経済構造と社
会経済的環境条件の双方に、地力増強の困難性と地力低下の本質的要因が存
在している」とし、輪作、土地改良、客土、深耕、有機質増投、合理的灌排
水操作、有機質補給作物、深根性牧草、輪作体系などの地力培養の方策と適
用条件などについて論じている。

最後に大内力は⁵⁾ 地力という場合には、ある与えられた時点における一定
農地の生産力を意味するばかりでなくその生産力の永続性と安定性といった
時間の要素が入ってくるとし、「永年にわたってますます豊穰になるような
生産力を永続的に維持し、かつ寒冷、かんばつなどの気象異常にも安定的な
生産力を発揮するような土地条件を整えることが、地力維持といわれること
の一つの主要内容をなす」とし、「地力問題は有機物の還元の促進および状
況にあった合理的施肥により解決されるということになろうが、その実現は
口でいうほど簡単ではない。」「地力問題解決のための農政上の課題は、労働
力不足下に労働集約的な技術をいかにして推進するか、本来、採算性のとり
にくい農法にいかにして採算性をもたせるか、ということに尽きるともいえ
よう。」述べ、合理的輪作の導入、耕種と畜産の有機的な結合の強化などを
強調している。

2-3) 農林省図書館編：農林文献解題「地力問題編」(1978) 監修、農林大臣

官房技術審議官川田則雄、農林省農林水産技術会議事務局 鬼鞍 豊

前記の「日本と地力」研究の進行と同時的に計画刊行されたのが、農林文
献解題「地力問題編」である。ここでは、それまでに刊行された地力問題に
関する多くの文献の所在と主要なものについての解説がされている。監修者
の川田則雄（農林大臣官房技術審議官）は、地力問題に関する論議は10年位

(12) 肥料と土壤肥沃度・地力についての考察

の周期で繰り返されてきており、その時々为社会情勢が反映し、戦後30数年の間に食糧増産対策、異常気象対策、食品の安全対策などから、3回の議論が行われたことを指摘している。

また、安田環は「農耕地における物質循環の視点からみた地力問題」において、「地力を高度の栽培技術のもとで作物の健全な生育を保証する土壤の能力としてとらえ、かつ、それは自然的人為的諸作用によってフレキシブル（動き得るもの）であり、しかも正常な物質循環が維持されていなければならない系であることを認識すべきであろう。」「今後の地力の保全是、土地改良と有機物投入を2本の柱としてすすめられるべきである。」と述べている。加藤明治は「作物生産と地力、畑作の観点」において、輪作、土壤浸食、稲わら利用、田畑輪換圃場整備などにおける問題点を整理し、とくに「排水が良好な場合の大豆生産力をみると、1～2年目は普通畑の約1.5倍の収量が得られるが、以後年次を経過するに従って減収している。これは、畑状態になることにより、土壤有機物の消耗が進み、地力が低下することにその原因を求めることができる。」と指摘している。小泉浩郎は「農業経営と地力」において、社会経済的条件により、地力低下を余儀なくされている実態、地力軽視、肥力偏重の背景などについて概観し、「水稻にとって高い地力をもつ水田は、畑作物にとっては必ずしも高い地力ではない。どの作物を作っても高い生産機能を発揮できることが、地力の重要な条件として加わる必要があろう。」として、地域複合農業、地域農業システム化等の「地力維持増強技術の体系化」を提唱している。吉池昭夫は「地力培養の技術的対策と今後の方向」において、土壤、作目毎の地力培養技術を総覧し、地力培養を図り、土地生産性を向上させること、水田においては高い生産性を維持するとともに、高度利用や田畑輪換を積極的に推進すること。有機物資源の確保に努め、その積極的な施用を推進することの重要性を指摘している。

2-4) 地力増進法解説 農産園芸局農産課内地力問題研究会、地球社、1985

昭和59年（1984）に「地力の増進を図るための基本的な指針の策定及び地

力増進地域の制度について定めるとともに、土壌改良資材の品質に関する表示の適正化のための措置を講ずることにより、農業生産力の増進と農業経営の安定を図ることを目的」として「地力増進法」が制定された。この法律では「地力」とは「土壌の性質に由来する農地の生産力」と定義されたが、ここでは「農地の生産力は、気象等の自然条件や栽培技術等によっても規定されるが、これらは、地力の範疇には含まれない。」とし「土壌の性質」とは、物理的、化学的、生物学的性質であるとしている。

この法律に基づき「地力増進基本指針」が公表されたが、そこでは、基本的な改善目標値が示され、「堆きゅう肥等の施用」、「的確な耕うんの実施」、「肥料の適正な施用の推進」等の土壌管理方法が示されており、また「化学肥料への過度の依存による堆きゅう肥の施用量の減少、作業効率の重視による作土の浅層化等地力の低下が懸念される事態が生じている。」との指摘もされている。

2-5) 望ましい耕地管理—地力の研究会報告 平成3年3月(日本農業研究所)

この報告書は昭和63年より平成3年に亘り9回開催された、(財)日本農業研究所(理事長、斉藤誠)主催の「地力の研究会」(座長、戸荊義次)の総括報告書である。(出席者:江川、大内、加賀山、金沢、川井、熊澤、田中、都留、戸荊、本村、村山)

開催時の農業状況は「農産物輸入自由化、水田農業確立対策事業の強化、農産物価格の低迷、農業収益性の低下、農村雇用状況の悪化等、わが国農業を取り巻く環境には非常に厳しいものがある。こうした中、周知の如く農村・山村においては農地の利用を巡って大きな問題が生じている。わが国農地を今後如何に維持持続させていくか、そのための施策は緊急かつ重要な課題といえよう⁶⁾。」と述べられているが、そのような状況に対応する農業の持続的発展のために「地力問題」の検討が必要とされたのである。

本報告では、Ⅰ 地力問題意識、Ⅱ 社会的土壌管理の事例を求めて、Ⅲ 現実の地力認識の各部分において、地力問題の所在が探られた。それらを摘

(14) 肥料と土壤肥沃度・地力についての考察

記すると、堆肥作成の労力不足、輪作体系の崩壊、ロータリ浅耕での土壤障害、クロールピクリン消毒増加、所得追求作物の選択、輪作体系と堆肥投入作物、堆肥肥施用が必須だが政策誘導は困難、必要な土地基盤整備などの事業が必要、耕種農家が飼料作物の大部分を生産供給する関係がないと複合経営とならない、野菜の集約栽培に麦の導入、浅耕の問題等があり、また輪作と有機物・稲わら・乾燥糞・厩肥、営農上の有利性と積極的堆肥造りが行われていることなどである。

また、三浦市のマリーゴールド、堆きゅう肥・藁稈交換、堆肥舎・マニュアルスプレッダー、土壤診断、堆肥センターなどの現状、20%の農家が農地荒廃し始めたことと認識されていることなど、さらに集落栽培協定実施により、畜産より稲わら交換堆肥供給、オガクズ入りたい肥、麦・ダイズにウド、ウドに堆肥厩肥、稲小麦ダイズ輪作に稲わら切断鋤き込み（石灰窒素施用）、堆肥厩肥生産組合からの供給などにより地域土壤の地力保全・推進が図られていることなどが報告されている。

提言として「生産性の高い、即ち儲かる作物には腐熟堆肥を多投して地力を高め、生産・品質を確保するが、普通作物栽培に対する地力向上の意識はあっても実行はなく収穫後の藁稈鋤き込みが精々の現状である。しかし、このような状況下で麦大豆等の導入はその作では利なくとも、数年を一括すれば有利との認識と実行の芽生えが一部にあるので、これを育てる必要がある。それには水田転作を利用する。水田転作は集落の農業構想樹立の好機であり、これを利用して、耕地・土壤管理を協定する。水田転作に関し、従来の田畑輪換栽培は同一圃場3年の田畑輪換を主としたが、転作では水稻2～3年・畑1年の新型が多い。この体系での技術確立を急ぐ必要がある」と述べている。

さらに「地力の研究会報告への補足」意見として、「環境保全型持続的農業（Low Input Sustainable Agriculture, LISA）への対応の必要性」、「畜産についてこれを団地化する方策のかわりに、これを分散し、かつできる限り自給飼料に依存することを奨励して、地域複合化を促進すべきである。」「地

力維持をひとつの柱とする生態循環の重要性について正しい理解をもたらせるための強力な啓蒙・教育活動が必要とされる。」「田畑輪換における地力対策研究が重視されるべき。」「有機物の循環的利用が地力の維持向上にとって不可欠であるが、そのみで地力の維持が出来る訳でもなく、輪作、その他の耕作、栽培条件も問題にしなければならぬ。」「有機物の施用は、量とともに質が土壤微生物のバランスを通して地力の発現に重要な役割を果たしている。」などが出されている。

3 地力低下についての近年の実態報告

上記のように、わが国農業においては、作物生産を支える土壤の最も重要な性質である地力を維持・向上させるための農業技術上の様々な努力がなされ、意志統一が図られ、農家経営の発展、農業情勢の変化に伴う施策の展開がされてきたのであるが、地力低下の実態を示す報告が相変わらず多く見られる。

3-1) 水田土壤の地力低下の実態とその対策⁷⁾

これは日本土壤肥科学会2014年度東京大会時のシンポジウム報告である。ここでは、水田土壤の地力低下の要因として、土づくり資材投入量の低下、大型機械による土壤硬化、浅耕、過剰な代かき、透水性不良、いなわらの分解遅延と土壤還元の急速な進行、有害生成物質（硫化水素、有機酸）による根の伸張抑制、養分吸収阻害などが指摘され、収量の不安定化、品質・食味の低下も問題視されている。個別적으로는、

岩手県：水田土壤の地力は概ね維持されているが、1) 有意物施用と施肥量の変化があり、1979年から現在迄30年間の変化として、堆肥施用から稲わらへ、堆肥の平均施用量は12Mg/ha、リン酸、加里の施肥減少などが認められたが、2) 土壤化学性については、どの項目も概ね土壤改良目標値に達し、可給態窒素は増加傾向、交換性石灰、苦土は低下傾向にあった。

山形県庄内地域：1) 土壤 pH 及び交換性塩基の低下、pH 及び交換性カルシ

(16) 肥料と土壤肥沃度・地力についての考察

ウムが低下、CEC 別の目標石灰飽和度を下回っていた。熔性リン肥と珪酸石灰の施用量も昭和49年度は1310及び1280 kg/ha (93%の圃場で施用)であったのに、平成20年度では、両者混合資材で平均780kg/ha に減少 (39%の圃場で施用) していた。2) 可給態ケイ酸の減少は著しく35年間で約1/2 (酢酸緩衝液) になっていた。

石川県：1) 水稲、大豆、麦の収量、品質に影響が現れているが、堆きゅう肥や土壤改良資材の施用減などが指摘される。2) 水田土壤の実態調査では、浅耕 (13cm)、作土直下にグライ化、pH5.5以下が50%、塩基飽和度が低く (53~66%)、全炭素の減少 (1.5% 未満が40%) が認められ可給態ケイ酸が150mg/kg の地区では減収率が低く、深耕とケイ酸質資材施用で増収、白未熟粒発生抑制されることがわかった。

三重県：全般的に pH、CEC 減少傾向、効果的効率的な有機物施用体系の必要であるが、1) 稲麦大豆の2年3作体系では、有機物の消耗が激しく塩基溶脱が多いこと、土壤改良資材や堆肥投入が減少 (省力・省コスト技術) し、2) 水稲では登熟期高温や地力窒素発現の早期化などで白未熟粒が多発している。3) 麦 (小麦) の収量減と土壤 pH の低下傾向 (pH5以下) がある。4) 大豆では、無施肥栽培、石灰吸収量が多く、pH 低下、有機物消耗、可給態窒素の減耗が認められる。

熊本県：1) 水田の理化学性では問題項目は少ない。2) 家畜糞の局在性で非畜産地帯への供給が問題。3) 塩基バランスでは Mg/K バランスが崩れ、食味向上のため高苦土、低加里施肥が必要。4) 稲わらの持ち出しが問題で、河川ケイ酸の少ない地域にケイ酸供給が必要。5) 沿岸部の排水不良地域では塩害対策が必要。

全国の地力低下要因と対策として、次の指摘がされている。

- 1) 可給態養分量：可給態窒素と可給態ケイ酸が減少。
- 2) 生産現場では：水稲作と畜産との循環が円滑に進まず、有機物施用量の減少が見られ、ケイ酸質肥料、土づくり肥料の施用減がある。また大豆作による可給態窒素減少、特に大規模圃場では、浅耕、稲わら施用と、分解生成

物の悪影響、大型機械の踏圧と排水性の低下が見られる。

3) 地力増強対策として：有機物、土づくり肥料の施用、田畑輪換体系における有機物積極利用、可給態窒素を指標とした適正な地力水準維持、有効土層の増加と根圏環境の改善が必要。

こうして、水田土壌が年々劣化しているが、土づくりの努力を継続するためには、生産持続性を保証する適正な米価が必要であり、水田地力の実態に思いを馳せ、発言し、行動することも国民の役割であることが強調されている。

3-2) 全国各地の水田地力に関する報告

上記以外の県においても、水田における地力に関係する報告は数多くなされている。

三木は⁸⁾ 愛媛県では「稲わらや稲わら堆肥を連用すると、化成肥料単用に比べて収量は多くなり、稲わら堆肥の連年施用は安定した増収効果があることがわかった。しかし、稲わら還元は造成直後には有効であるが、徐々に効果が小さくたり、10年以上の連用で、稲わら堆肥に劣る傾向にあった。炭素の残存率は稲わら還元より稲わらを堆肥化して施用するほうが高く、このことが長期に連用すると稲わら還元よりも堆肥施用で増収効果が高い要因のひとつであると考えられた。」

石原は水田土壌の地力の低下が起きているとことを指摘し⁹⁾、亀和田（栃木）、三浦（福島）、岡田（広島）、宮川（石川）らも、それぞれの県内における実状を述べ、有機物、土壌改良資材の使用により地力を維持することの重要性について報告している¹⁰⁾。

一方で、牛糞過剰施用では「土壌中の可給態窒素120mg/kgを超えると収量は低下する」との報告¹¹⁾ や「プラウ耕ではロータリー耕に比べて窒素肥沃度の面では劣るが、土壌が酸化的に経過し、落水後の土壌乾燥、排水性が良好になり、収量も優る場合がみられる。耕起方法は作業能率だけでなく、水稲の生産力にも影響する」という機械化と地力の関係に留意することの必

要性が指摘されている¹²⁾。

また、「田畑輪換」による地力低下事例の報告数も増大してきた。

西田¹³⁾ は転作による土壤窒素肥沃度の低下の事例として、稲わら堆肥2t/10a施用の場合、土壤窒素肥沃度は18年間で低下（堆肥無施用区では1/3、堆肥施用区でも1/2）、水田区では堆肥無施用でも維持、堆肥連用では増加することを示し、稲わら堆肥2t/10aで、ダイズ2作、水稻3作の割合で作付けすれば土壤肥沃度は維持できるとしている。またダイズ300kg/10aの収量のためには80mg/kg以上、安定した収量のためには150mg/kg以上が必要。結論的に80~200mg/kgの土壤窒素（地力増進基本指針と同じ）を目標とすべきとしている。

廣川¹⁴⁾ はヘアリーベッチすき込みで効果を認め、牛糞堆肥3t/10a施用で土壤窒素無機化量の減少を防げるが、ダイズ1作で4mg/100gの減少するとしている。

松本¹⁵⁾ は10年以上の黒大豆田畑輪換で地力窒素が減少することを示し、有原¹⁶⁾ は転換畑で培養窒素（地力窒素）が減少するが、ダイズはトウモロコシが利用できない難溶性土壤窒素を分解利用するとし、堆きゅう肥のすき込みや緑肥の利用が必要だとしている。

高橋¹⁷⁾ は水田輪作、ダイズ、田畑輪換による地力の低下について、水田ダイズと畑ダイズの収量の経年変化を調べ、窒素収支がマイナス、畑期間に有機物分解が早い、水はけ、水持ち、通気性などの物理性の悪化を示し、水田の地力低下は、水田輪作のみならず、水田への肥料や堆肥などの投入量減少が影響し、化学肥料または堆肥や石灰（窒素施用量が1985年に比べ2012年には6割程度）の減少していることを認めている。その理由は、「土づくりの必要性は十分に理解しているけれども、資材を入れる労力がない」こと、生産者米価の引き下げに対応して土への投資が減少していること、またコメの品質重視のため窒素肥料施用が控えられていること（近年の窒素肥料の窒素利用率は100%）を挙げている。

新良¹⁸⁾ も、転作ダイズ生産性低下要因として土壤の可給態窒素量の低下

(堆きゅう肥施用量の低下)、物理性の悪化を挙げている。また畑作転換を含む輪作体系下の「水田地力の低下要因として、転作作物の導入による土壌環境の変化、すなわち、酸化還元状態の変化や作物残渣還元量の変化等ばかりでなく、社会的な労働環境の変化による省労力な栽培の広がり、作土の浅耕化や資材投入の過少化などが進んだこともあげられる。¹⁹⁾」としている。

4 地力をめぐる論議

農業生産物は国の富の形成に大きな役割をしてきたので、それを支える土壌の作物生産力、肥沃さ、豊度については自然科学者のみならず、経済学者の大きな関心の的であり、様々な研究がされ、理論が発表されている。その骨格のみを記してみたい。

4-1) 19世紀における土壌肥沃度に関する考察

経済学的には土壌肥沃度論は地代論の基礎の一つを形成している。

地力は伝統的、農民的感覚でとらえた土壌の作物を生産する力、能力であるが、科学的にあるいは分析的に考察される過程で、その表現や訳語も様々になり、豊沃度、肥沃度、豊度、豊饒度など、また場合に応じて地力度、自然地力度、自然肥沃度などの言葉も使用されてきた。とくに農業経済・経営学が農業自然科学と乖離した状況下において、上記の様々な語にあるように同じ対象が別の言葉で語られるようになってきた。

以上述べてきたように、「地力」あるいは「作物を生産する土壌の能力」を巡っては、土壌肥沃度、土壌生産力、土壌豊度、土壌豊沃度などの言葉が、その場面にに応じて使用されて、その大小あるいは消長やそれらを比較するための尺度が問題にされてきた。

(1) マルサス

マルサスは「人口論²⁰⁾」において、人口の増大と食糧生産の問題を論じているが、とくに問題としているのは土地生産力についてであり、「人口(増加力)と土地の生産(力)との、二つの力のこの自然的不平等、およびそれ

らの結果をつねにひとしくしたもたずにはおかない、われわれの自然のあの偉大な法則は、社会の完成の途上において、わたくしには克服不可能だと思われる大きな困難をなすものである。」として、土壤の自然的肥沃度の消長についての強い関心を示している。「イングランドの土壤は施肥しなくてはおおくを生産せず、家畜は土地にもっとも適した種類の肥料をつくるのに必要なおもわれる。」「牧草地は、同一の自然的肥沃度をもつ穀物栽培地よりもすくない量の人間の生活資料しか生産しないことは、まったく周知の真理であり、」「現在の牧畜制度は、うたがいもなく以前の制度以上に、この国の人間の生活資料の量を土地の一般的肥沃度とくらべて減少させるかたむきがある。」など「困い込み時代」当時の問題点を指摘していた。

(2) アダム・スミス

土壤の作物生産能力の相違は、生産される作物の量の違いをもたらし、その土地の経済的評価、あるいは「地代」の違いをもたらすものとして評価された。アダム・スミスは国富論において、

「もっとも富裕な国民は一般に、製造業のみならず農業においても、すべての近隣諸国民にまさるが、しかし彼らは農業において以上に製造業においてすぐれているのがふつうである。彼らの土地は、一般によく耕作され、より多くの労働と費用が土地に投下されるため、土地の広さや自然的肥沃度に比してより多くを生産する。²¹⁾」「地代は、その土地の生産物が何であっても、その肥沃度によって変わるばかりでなく、肥沃度がどうであっても、その位置によっても変わる²²⁾。」「食物生産についての土地の肥沃度の増加は、どんなものでも、改良が行われた土地の価値を増すばかりでなく、他の多くの土地生産物にたいする新しい需要をつくりだすことによって、それらの土地の価値の増大にも寄与する。土地改良の結果、多くの人びとが自分たち自身の消費しうるところを超えて自由にできるようになった豊富な食物は、貴金属や宝石にたいする需要を、衣服、住居、家具、身のまわりの品物という他のすべての便益品や装飾品への需要とともに作りだす、大きな原因である。食物は世界の富の主要部分をなすばかりでなく、他の多くの種類の富に

価値の主要部分を与えるのも食物の豊富さである²³⁾。」「広大な国の圧倒的大部分の農場では、よく耕作された土地の量はその農場自体の試算する肥料の量に比例するにちががなく、後者はまたそこで飼育されている家畜の数に比例するにちがいない。土地への施肥は、そこに家畜を放牧するか、あるいは畜舎で家畜を飼育してそこから糞を運び出すかして、行われる。しかし家畜の価格が耕地の地代と利潤とを支払うのにたりうるものでなければ、農業者は家畜をそこで放牧する余裕をもちえないし、畜舎で飼育することはなおさらである²⁴⁾。』

ここで示されているように、土壌の肥沃度は地代の大小として現れるが、地代は必ずしも肥沃度のみならず、土地の位置にも依存する。土地改良は肥沃度を増大し、地代を増加させる。肥沃度増大のために使用される厩肥の量は経営で飼育されている家畜の数に依存し、家畜数は家畜の市場価格により制限される、というような相互関係が示されている。

(3) テーア

経営内の厩肥の量を増加させるために、農法の変革を促し、積極的に根菜類を導入し、家畜飼料の供給増、ひいては家畜数の増大を可能にする輪栽式農法を合理的農業の基礎として提唱したのが、テーアである²⁵⁾。農学的土壌分類の開祖としても知られるテーアの土壌評価、地力度論については、別稿²⁶⁾においても紹介した。

テーアは、同一の地域においては、同じような土地でも違いがあり、それは豊度 (Reichtum) の相違であり、劣等地でも施肥により優良地になることを示した。当時の肥料の主要なものは厩肥であり、石灰、泥灰土、灰、石膏などであった。それらの肥料と収量との関係すなわち、施肥による土壌の改善効果が吟味された。特に厩肥は購入調達される肥料とは異なり畜産を含む経営内部から生み出されるものであるので、その施用と適切な栽培法の採用は、土地の生産性を長期的、持続的に維持することとの関連において重要視された。多年に亘る農場経営経験と調査により、地力は適切な栽培法により増加するものであるが、不適切な扱いによっては減少することを示した。

「何人ももの占有者や持ち主が歴代続いたような農場や衰退してしまった農場を、時としてまさしく最有利に買入れられることもある。最後の持ち主が多くを投入して地力を実際増やすことも多いが、しかし、それも作付けを続けるには十分長持ちし継続するというわけではないものもある。しかし、こうしてまともに土地改良をやって後継者の便に供されているといった事例も結構多い。他面では、最後の持ち主が、圃場の地力を奪い取る形で一時的に高い収益を引き出し、それによって自分の資産は増えるが農場ははなはだ劣化してしまうことも知っている²⁷⁾。」

テアは土壤の肥沃であることと、その土壤の作物養分供給力との関係、さらにその養分とは腐植であるということに導かれ、それを供給するのは動植物によってつくり出される堆肥・厩肥だと考えた。

「養分（「養分」ということでわれわれが今後理解するものは、腐植質の中で作物に可吸態化状態にある部分をいう）が土壤の中に存在するその程度に比例して、植生の強さも、またあらゆる個々の生産物の質量も左右される。養分はただ空間の広がりによって制限されている。われわれは、これを肥沃度（フルヒトバルカイト）、肥度（ライヒトム）、地力（クラフト・デス・ボーデンス）と称するが、これは可変的であって、それを吸収した植物がなんであっても、それを補償しなければ減少するものである²⁸⁾。」

テアは地力の増減と農法との関連を明らかにする方法として、現在でいう「仮設演繹法」的な推理を展開している。すなわち、土地の地力を仮想的な量として表現し、施肥や休閑による増加、収穫による減少など、各種の土地に対する作用を一定の仮定した量に置き換え、その量の増減の比較をしている。最終的に経営的に得られた利得を合理的に説明するように仮定値を設定するのであるが、多くの経営に妥当であることが農場経営の経験上示されたことにより仮定値は次第に現実値になってくるのである。

出発点として、「自然地力」を設定する。「自然地力」とは「耕地は、収穫をどんなに繰り返しても、土壤中にいかなる養分地力がなくなって何も生産できなくなるほど枯渇してしまうということはめったにないか、ないしは

まったくない。それは、たとえその耕作がもはや何の利益もないか、または耕作の費用以上には何の純収益ももたらさないような程度にまで落ち込むことが多くなったとしても、そうである。このような残留地力のことを、われわれは自然地力と称する。²⁹⁾」のであるが、テアは自然地力すなわち、これ以下に下がると農業経営上の収支が償われなくなる水準であると同時に、標準的農作業に対応する値を次のように設定している。

自然地力	40度
堆厩肥 1 フェーデル単位 (約 1 トン) 施用	+10度
清浄休閑 1 回分	+10度

問題になるのは作物栽培による地力あるいは作物による地力収奪量の推定である。作物の地力収奪量は栽培時の地力水準と作物の種類・収量などに依存して一様ではない。

そこでまずライ麦の単位収量の収穫後に減少した地力として10度を与える。

それに対して、他の穀類は養分含量の相対的値を基に地力収奪度を定めることができる³⁰⁾。

当時の穀物分析により養分すなわちグルテン、でんぷん、甘粘液質の重量含有率は小麦78%、ライ麦70%、大麦65~70%、エン麦58%などとして与えられている。単位収穫 1 シェップェルあたりの養分含量は、作物別の重量の相違を考慮して、小麦92ポンドあたり71.76ポンド、ライ麦86ポンドあたり60.2ポンド、大麦72ポンドあたり46.8ポンド、エン麦52ポンドあたり30.16ポンドとなる。

ライ麦 1 シェップェルの養分含量を10とおくと、次の値が与えられる。

ライ麦 (1 シェップェルの収穫)	10度
小麦 (同上)	13度
大麦 (同上)	7度
エン麦 (同上)	5度

すなわち単位収量あたり、この程度の地力収奪あるいは土壤養分枯渇力があ

ることになる。

他の作物についてもライ麦を基準として同じような値を出すことができるが、マメ科作物など経験上土壤改善作物とみなされているものについては、収奪とともに返還するものも考慮しなければならないとしている。

テアはこのようにして、七区輪栽式農法など当時の代表的な農法による輪作期間中の地力収支を計算し各種農法の地力増減一覧表を与えている。

地力の増減は休閑や施肥、作物種や目標収量など含む農法と関係があるが、もっとも直接的な影響を与えるのは堆厩肥の施用であり、それより生成する腐植であるということに論理的に到着する。

ここでは地力は土壤中の作物に吸収可能な養分、腐植の量と関係があるか、腐植そのものである。地力の回復は失われた作物養分、腐植の回復によりなされる。農業が持続的に経営されるためには、失われた養分の回復、すなわち「地力均衡」が基本になる。この養分は腐植であるという考えは、そのまま植物栄養における「腐植説」の提唱ともなった。

テアは「地力増進は二通りの手段で、すなわち、①施肥強化による方法と、②稔実作物をひかえる方法とで達成できる。いずれの方法をとるのか、またはどのような関係の中でなら両方とも適用できるのかについては、各人それぞれの個別の状況によって判断することになる。堆厩肥素材を自家生産できる場合には、施肥強化の方法でより高い収量があげられ、外部から施肥素材を持ってくる方法一通常それは必ずしも持続的ではあり得ない一より大きい効果があげられる。」と述べ、テアは彼の創出した地力均衡の理論 (Statik des Bodens) に基づいて、各輪作体系での地力増減の計算例を示し、作業 (休閑、厩肥施肥) あるいは作物 (大麦、ライ麦、クローバなど) に応じて、地力増進度、地力減耗度の数値を与えている。しかし同時に、ここでこの計算は収益計算としてではなく、各経営方法の耕地に対する諸関係だけを比較・検討したにすぎないと断っている³¹⁾。

農業者は地力の維持を基本にして、穀物価格、家畜の価格等に応じて、高い収益の得られる農法を選ぶことになる。

このようにテアはそれまで経験的に、習慣的に、直感的にいわれてきた土地の生産力に関する多くの言葉、地力、豊度、肥力、肥沃、肥度、肥満度などの概念の内容を吟味しつつ、土地あるいは土壤の肥沃度の存在とその尺度として地力度を作った。地力度は相対的なものであるが、最適農法などの選択の基準・指針を与えるものであった。また地力度にもっとも影響を与えるのは堆厩肥の施用量であり、それは作物の栄養分を与えるからであるとし、堆厩肥から出来る腐植質、それは土壤中の有機物の一種であるが、可溶化して植物に吸収される栄養物すなわち「腐植」になると推定した。ここで導入された「腐植」は概念的なもので実体が明らかになり定量されたものではなかったが、「腐植」の増減で地力度の増減が説明された。

「腐植」概念はさらに一般の農耕諸技術の効果の説明においても使用されるようになったのであるが、この段階でテアは最も重要なのは土壤であるとして、土壤の理化学的性質と肥沃度の関連性を調べ、人間の土壤に対する働きかけの最大のものとして、肥料や土地改良の効果などを調べた。

(4) チューネン

テアの地力均衡論を農業経営の実際に当面する状況に応じて具体化したのがチューネンである。チューネンはその孤立国第一編³²⁾(1842)において、農業重学 (die Statik des Landbaues) の章を設け、「農業の肥力平衡の原則」について説明している。「同一土壤に対しては穀物収量は一経営および他のすべての影響ある要素が等しいならば一土地の植物栄養分の量によるものである³³⁾」と述べ、同時に「ここではつねに同一の土壤を言っているのであるが、その肥力が種々なる段階にあるのである」という注をつけ、植物栄養分の量を肥力と考えていたことが判る。当時影響力を持ってきたリービヒの植物栄養論も意識していたのではなかろうか。

農業が合理的に経営されるためには、農業の肥力均衡の知識が必要であるとして、「農業重学」を展開した³⁴⁾。

「同一数量の植物栄養分、例えば厩肥一車を与えて一つの土壤は他より大なる生産をあげるという土壤の作用を私は土質 (Qualitat des Bodens) と名

づけ、厩肥一車を耕地耕地から取り去って生産されたライ麦のシェッフェル数をもってその度合いを示す。粘質土壤は砂土よりも上位の土質を有し、一等小麦地の土質は3.8度否4度に上がるのに反し、一等エンバク地では2.5度にすぎず、砂質の含量とともに低下し、軽砂土では零に達する。」「二つの継続する収穫が相対的に減少する程度は、土質によって大いに異なり、砂土において粘質土におけるよりも大である。」とし、この現象を生ぜしめる土壤の作用を土壤の顕効度 (Tatigkeit) と名付けた。「他の事情にして等しければ収穫量の減少は土壤中の植物栄養分の減少によるものであり、肥沃度は土壤の顕効度と栄養分との二要素の積とみなすべきである。肥沃度はその程度を生産物において示す。故に顕効度を T にて、栄養分を R にて、収穫を E にて示す時は、 $E=TR$ である。

土壤の顕効度は土質と反対の関係にあり、砂土で大きく、粘土で低くなる。

土壤の肥料分、有機分を H にて、土質を Q にて示せば、 $R=QH$ になる。

土壤の栄養分は物質ではなくて生産能力である。肥料は栄養分ではなく、土壤の作用を通じてはじめて栄養分となる。同一量の肥料も異なる種類の土壤においては異なる程度の肥効を示す。同一土壤においては肥料含量、または可溶性栄養分の量 (有機質 Humus) と肥力 (Reichtum) または生産能力とは互いに正比例的関係にある。

結果として $E=TQH$ が得られるが、「二つの土壤が全く同一の耕作をしてしかも作物の収穫が異なるならば、吾々はこの収穫の差を土壤の物理的性質における差異をもって測定せねばならない。」ここで「収穫量に対する土壤の総作用は、標準に選びかつ単位とした他の土壤と比較して、「地力」Erdvermogen と名づけ、これを V にて示す。」

「土壤の総作用はまた TQ に等しいことを見出した。故に $V=TQ$ である。または地力は土壤の顕効度に土質を掛けたものである。」

地力は比例が問題になるので、任意に標準土壤の地力を100に仮定する。

「耕地が中庸的作柄の年に産出する収益がその収穫力 (Die Ertragsfähigkeit) と名づけられる。」とした。彼は Sprengel 教授の成果に言及し「あら

ゆる植物の中には石灰、カリ、硫酸、苦土等のような鉱物質が含まれていること、これらの物質は植物の栄養物とみるべきであること、および耕地は甚だ多くの場合にこれらの鉱物を加えることによって豊沃になるということである。」と述べ、Liebig 教授についても評価をし、「重学の使命は、土壤が収穫によって被る生産力の減少と、それが一定量の厩肥によって得るところの生産力の増加とを各種土壤に対して数字にて示すことである。」「化学は、有機質の成分における正常状態が破れた時に、耕地を豊沃にして実際農業者にできるだけ役立たしめるためには、いかなる物質を耕地に与えねばならないか、を示すことができる。合理的農業者は化学の知識を欠くことはできない。」と述べている³⁵⁾。

訳者がその跋において、「チュウネンの地力循環の理論はもっと拡充せられねばならない。」としているように、地力、生産力、肥力、等の諸概念が測定可能な値としては与えられず、相対的な、仮定的数値の比較で与えられている点などには不十分さが感じられる。

なお、チューネン以来のドイツにおける農業重学のその後の発展と終結については、友田³⁶⁾ がドレSSLラーの考えを簡潔にまとめている。

それによると、ドレSSLラーは「学問的に検討すれば、重学の原理が虚構にすぎず、それに立脚した重学計算が実行不可能なことはもちろん、理論的に正しく完成できないのは明らかである」としている。リービヒの無機栄養説と施肥論が影響力を増す中で「も早や、経営の地力維持を、経営内の物質循環のみに依存せしめる必要はなくなり、経営外の豊富な肥料資源からの栄養分補給によって、解決することができる」と考えた。

(5) リービヒ

リービヒに関しては膨大な文献資料が存在する。著者も日本の農業、農学との関連において述べたこともある³⁷⁾。また吉田武彦はリービヒの物質循環論の評価を中心に紹介している³⁸⁾。

言うまでもなく、リービヒは植物栽培の結果として土壤から失われる植物必須養分の回復が農業の持続的生産を維持発展させるための基本となるこ

とを主張し、そのために必要に応じての肥料、人造肥料の施用をすすめた。

リービヒの地力観はその主著「Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie³⁹⁾」の各所に伺えるが、「農耕の自然法則」の中の「土壤」の章には次のような表現がある⁴⁰⁾。

「栽培植物に対して土壤が肥沃であるためには、第一の条件としてその植物の養分を十分量含む必要がある。しかしながら、この条件を測定する化学分析は、種々の土壤の肥沃さ判定の正しい基準となることは稀である。その理由は土壤に含まれる植物養分が有効つまり吸収可能であるためには、ある形と状態を持つ必要があるが、分析はこれを完全には示さないからである。」

「多くの畑では下層の土が耕土を改善し肥沃にする。他の畑では下層土が耕土に混入されると毒として作用する。」

「種々の岩石を肥沃な耕土に変化させるに必要であった計り知れない時間の作用は、人間の技術では模倣できない。」

「栽培植物に対する土壤の栄養能力は、土壤が物理的飽和の状態で含む養分の量に比例する。」

このように、彼は土壤肥沃度の根源は土壤溶液中に溶解している植物養分量であると考えていたことが伺える。

(6) マルクス

マルクスは資本論の中で、差額地代論の中において、土壤の豊度（土壤肥沃度）について考察している⁴¹⁾。すなわち差額地代は、「ある生産部面に投下された特定の個別諸資本のより大きな相対的豊度——この例外的な、自然の作り出した生産力の有利な諸条件から排除されている投下諸資本に比べて、より大きな相対的豊度——から発生する。」とし、農業においては、同じ面積の異なる地所に使用された、等しい分量の資本の不等な諸収穫をもたらす一般的で資本とはかかわりのない要因として「地所の自然的豊度」と「地所の位置」をあげている。

「気候などの諸要因を問わないとすれば、自然的豊度の相違は、表土の化学的組成の相違、すなわちこの表土に含まれている植物の栄養素の成分の相

違にある。とはいえ、二つの地面の化学的成分が等しく、その意味で、自然的豊度も等しいと前提しても、現実の有効な豊度は、これらの栄養素が植物の養分として同化されやすく、直接に利用されやすい形態をとっているか、されにくい形態をとっているかによって、相違するであろう。したがって、自然的に豊度の等しい地所において、同じ自然的豊度がどの程度まで利用されるものとなるかは、一部は農業の化学的發展に依存し、一部はその機械的發展に依存するであろう。それゆえ豊度は、土壤の客観的属性であるけれども、経済的にはいつでも、関係、すなわち、農業における与えられた化学的および機械的發展状態に対する関係を含んでおり、それゆえ、この發展状態につれて変化する。」と述べ、豊度の変化する条件すなわち肥料、深耕、排水、土地改良、農耕方式等の影響について具体例を挙げて詳細に説明している。

さらに、「異なる地所の豊度の差異におよぼすこれらすべての影響は、次のことに帰着する。すなわち、経済的豊度としては、労働の生産力の状態、ここでは土壤の自然的豊度を直ちに利用されるものにする農業の能力——發展段階が異なれば異なる一能力——は、土壤の化学的組成その他の自然的諸属性と同じように、土壤のいわゆる自然的豊度の一契機であるということが、それである。」と述べている。

ここで新たに、自然的豊度（自然的肥沃度）に加えて、経済的豊度（経済的肥沃度）という概念が規定されたことに留意する必要がある。この両概念の関係について、山田盛太郎は日本農業の例を引いて説明している⁴²⁾。二、三の例を挙げる。

「例えば、最近の日本稲作（水田）の場合を見ても、土壤の経済的豊度を高めるための化学的・機械的技術の進歩普及には、注目に値するものがある。すなわち、化学的方面では、土壤の団粒構造のためのクリリウム剤の使用や堆肥の肥効にたいする再認識、粒状肥料（とくに燐酸肥）の施用など、また機械的方面では、戦前からの麦間直播栽培の改良、水田深耕（6寸が理想的）のための小型動力耕耘機の急速な普及傾向など、いずれも注目す

べき事例であろう。」

「自然的豊度の十分な有効化を阻害する気候的要因（冷害、凍害など）を克服するための品種改良の側面も見逃してはならない。例えば、日本の稲作技術の進歩をみれば、その耐寒早熟性品種の育成によって稲作の北緯限界線が著しく前進させられ、数十年前には米作不能とされていた樺太や北海道各地でも、極めて容易に米作が出来るようになった現状は、北方寒冷地帯の経済的豊度が、飛躍的に向上させられたことを意味する。」

同じ自然的豊度を持った土壤でも品種や栽培方法の相違により異なった経済的豊度を現出するのである。

4-2) 現代における土壤肥沃度・地力に関する考察

土壤肥沃度・地力は土壤科学研究者の間では絶えず関心の中心にあった。以下その主要な考察を列举する。

(国外)

G. W. Cooke は大著 *The Control of Soil Fertility* の序文において、「人的干渉のない土壤の肥沃度は地上の動植物及び地下動植物種の数を最高に保つ能力である」「農業が営まれるようになってから、土壤の肥沃度は望ましい作物を生産する能力である⁴³⁾」と述べている。

ゲラシーモフ⁴⁴⁾ は「人が価値を認め、利用しようと努めている土壤の最も重要な性質は土壤の肥沃度すなわち植物の収穫を作り出す土壤の能力である」と述べている。

(国内)

加用信文は「日本農法論⁴⁵⁾」において、日本農法の性格について論じ、明治以降の深耕／多肥農業の実態をみると、「主として下層土の潜在的地力の発現／利用のための、いわば地力収奪の意味での深耕で、必ずしも地力増進的な意味での深耕、すなわち堆厩肥等の有機質の多投および茎葉作物との輪作のための地力の拡大再生産的な土地利用方式に伴う深耕ではなかったのである⁴⁶⁾」と述べ、乾土効果／アルカリ効果／土壤攪拌効果等も土壤中の窒

素を有効化する技術として、いわば地力収奪的な性格をもつものといえと批判的見解を披露し、土地生産力自体のあり方について再検討が必要であろうとしている。

「一般にいわれる土地生産力とは、結果的な土地単位当りの収量の別名にすぎず、農業の基本的手段としての土地自体の生産力 (soil productivity)——経済的には土地の豊沃度 (fertility)、土壌学的には地力 (Bodenkraft) と呼びうる——ではない。」とし、土地自体の生産力をいかに増進するかが重要課題であるとしている⁴⁷⁾。

甲斐ら⁴⁸⁾は「地力は土壌のもつ本質的な植物扶養能力であり、・・・高い生産力は地力が基盤となり、自然の地理・気象と人間の働きかけとの共同作用により産みだされていく」と述べ、金野ら⁴⁹⁾は「地力維持の基本的な技術は輪作と堆きゅう肥施用で、これを合理的に行うためには、有畜農業が理想である」と記した。

熊田恭一⁵⁰⁾は有機物の活用は土壌肥沃度の維持向上不可欠な手段としながらも、「これはあくまで土壌環境の保全と向上のための一手段であり、これまでに得られて来た方策とともに総合的技術大系のなかに正しく位置づけるべきもの」と述べている。

渡辺兵力は戦後間もなく刊行した「農業技術論⁵¹⁾」のなかに地力論について一章を割いて論じている。

そこでは、「地力 Fertility と通称される概念は、一般に土地の肥沃度と理解される。けれどもこれを厳密に規定しようとするとなかなか困難で、かつ規定した概念を具体的にまた実践的に把握しようとするれば、一層多くの困難が伴う。」とし、一応の考えとして、「地力とは農用土地の労働手段としての固有の生産能性を指し、生産能性の水準を具体的、量的概念として表現するとき、これを【地力】という」と述べている。

さらに「このように規定してみても土地そのものの種類、状態、あるいは具体的に地力水準を示す尺度の取方などによって、同じく地力といってもその内容が相当相異なるであろう。いい換えれば、地力概念を具体化すれば唯

一つに統一できず種々あるということになる。」として、地力概念の基本的類型として、自然科学的地力、技術的地力、社会的経済的地力、自然的地力／地力、を挙げ、それぞれについての説明を加えている。

その上で、当時の農林省当局のまとめた代表的な見解として、「地力とは、耕地の自然的要素とそれに加えられた永久的、固定的土地改良を含むところの耕地の生産力をいう、従って、この地力は、その地方の普通の肥培管理を行い、気象条件が平年的であるならば普通に生産しうべき主要農産物の収穫量で表わしうるものである」ということを紹介している。

岡島秀夫は⁵²⁾、「土壤肥沃度論」を著し、古今にわたる「土壤肥沃度観の歴史」を紹介し、作物生育培地としての土壤のもつ各種の性質を土壤肥沃度との関連において詳説している。「水と養分に対する植物の要求を満足させ得る土壤の能力を土壤肥沃度と考える」ウイリアムス説に従っているが、特に地力については、麻生⁵³⁾の土壤の生産力を地力とする説を良しとし、同時に「土壤は土地の構成物にすぎず、また土地はその利用法によって名称が異なると述べていることから考えると、土壤の生産力というよりは土地の生産力を地力と定義していたと解釈した方がよいと思う。」と述べている。「場合によっては品種改良、施肥技術の改善などによる生産力の向上が土地生産力に大きく貢献しており、いわゆる土壤の肥沃度は表に現れない場合がある。なぜなら、水稻個体群のスペクトルの主要な規制要因は光や温度であるためである。」とも述べている。

「地力については土壤肥沃度を重視しなければならないが、同時に土壤肥沃度は作物生産の一要因であることを考えて、その重要性は、気候、作物種、栽培法または収量レベルといった全体の中で位置付けることによってみとめられることを論じた。」(序文) こうして「先人の如何なる土壤も肥沃にできるという思想が、農耕地の中に生きていたい」としている。

石塚喜明⁵⁴⁾は、「地力」と言う言葉は土壤学の言葉ではなく、「農家の言う地力とは作物を生産する土の能力と言うような漠然としたもの」とし、人の努力の加わる以前の自然のままの生産力と、資本も含め人の努力の加わっ

た場合（逆に荒廃させた場合）の現在の生産力とがあること。骨格的地力（土壌の物理性、化学性）、現存的地力（品種、肥料）、期待的地力（多収期待）などを具体的に考えることを勧め、「有機物を神格化するだけでは学問的に説得力がない」、「地力とは我々が農業生産をあげるために土地に期待するもの」であるとし、多肥農業下における地力、とくに水稻栽培における地力について「光、温度、土壌の物理的性質が最適の状態にある場合」という前提条件の下に「水と養分に対する作物の要求を満足させ得る土壌の能力」そして作物の要求とは「人間が期待している6t/ha以上を安定して生産出来る状態」と言うきびしい条件下で地力を論じていることを前提としていることを再認識した上で議論しなければならない。」「堆肥その他有機質肥料を使わないで6t/haを取る研究も逆説的ではあるが有機物の意義を知る上において必要なアプローチの一つである。」と述べている。

弘法健三⁵⁵⁾は、「土壌の生産力は単位面積当りの収穫量として表現される。経済条件を同じくし等しい気候条件下にあって耕作様式が同一な地域内では、作物の収穫量の相違は全く土壌の生産力の相違に由来する筈」「地力は可能性としての土壌生産力であり、土壌生産力は現実性としての地力である。」と述べ、ドイツのRamannは地力（Bodenkraft）と肥沃度（Fruchtbarkeit）と生産力（Ertragsvermogen）とを区別していることを紹介し、地力とは土壌の科学的及び物理的諸性質の総和であり、肥沃度とは地力と植物生育との間に成立する関係であり、そして生産力とは植物群或は個々の植物種に及ぼす作用に関して肥沃度と気候因子との間に成立する関係である。」と述べている。

また別論文において⁵⁶⁾、「作物の収穫量が土地によって相違する必然的現実から、地力という概念が生まれる。」と述べ、自然土壌と耕地土壌の養分循環の特徴、水田土壌の自然の肥沃化や、ドイツでは土地の生産性を高める意図で使用される物料を一括して施肥手段と呼んでいることなどを紹介している。また「作物生産性の高い土—地力の高い土—は、現象的には微生物活動に好適な条件を具備している土である」とし、Ramann（Bodenkunde,

1917) に沿って、地力を三段階に分けて説明している。すなわち、「肥沃度 (Furuchtbarkeit)」は自然土壤の可給態成分の多少を表す指標で、農業の初期の段階、施肥以前の段階の地力であり、この肥沃度と土の物理的乃至化学的性状とが総合された現れを、「地力前段 (Bodenkraft)」と名付ける。地力前段は自然土壤の地力に相当する。人間労働が加わった耕地土壤では土の本源の性状と人間労働とが共軛された現れを「生産能 (Ertragsvermogen)」と名づけて肥沃度や地力前段と区別する。「この段階では、すでに施肥手段によって肥沃度の一部は否定されており、その否定部分は人間の労働に対応している。従って生産能は肥沃度の否定の上立った高次の概念であり、それは農業の現段階における耕地の地力に相応するものと考えられる。」と説明をしている。

さらに「地力とは要するに、作物生産として具体化されるところの、土壤諸性質・諸作用の多様の総合であり、言わば多を一において表出する機能であるから、……施肥手段を合理的に適用しつつ土を万全の状態に保ってゆくのが地力維持で、なおその上にそこに内包されている潜在的能力を発揮させてやるのが地力増進に当ると考える。」と述べている。

江川友治は⁵⁷⁾G.V.Jacks の考え⁵⁸⁾を紹介し、「土壤の自然的肥沃度は生物物理的な現象である。それは生物界におけるエネルギー転換と関連している現象である。太陽エネルギーは光合成及び熱収支によって植物体内に化学エネルギーとして転換され、それは土壤に還元されて、土壤と接触を持つすべての生物集団（微生物、植物、人間を含む動物）が彼らの生存と生活に最も好適なすみかを作り出すためのエネルギーとして費やされる。土壤肥沃度はこの過程の所産であり、それゆえにそれは、これらすべての生物集団が高水準の生活を獲得し得るか否かという成否の表現ないし目安である」と述べ、地力研究に対する新しいアプローチが必要とし、新しい総合化の問題、環境に適応して変動する生物的自然体としての土壤の持っている地力の実態について解説し、「トータル・システムとして考えていく、そういうアプローチに切り替えないと、いつまでたっても地力問題というのは結論が出てこないだ

ろう」と述べている。

5 地力概念についての整理

地力の維持培養は農業の基本的関心事であり、特に土壤肥料研究の目標の一つであったが、その理解は必ずしも、農業科学・技術研究者に共有されているとは言えない状況があり、すでに述べたように多くの研究討論会、見解表明が必要とされた。その初期の頃の状況と論議は別稿「地力培養と土壤肥料⁵⁹⁾」に概説したが、地力概念についての統一的理解の必要性を感じていたので、上記したような既往の多くの研究、論説を参考にして、現在の段階で整理しその理解を記しておきたい。

5-1) 自然的肥沃度と経済的肥沃度

地力は植物を生産する土壤の能力であり、それは土壤自体に担われる。

土壤は地球の表層に存在する、「気候、生物、地形、岩石、年代の相互作用により生成した、独自の形態を持つ自然体⁶⁰⁾」であるが、その植物生産能力により、永年におよぶ農耕文化の発展を支えてきた。とくに作物栽培や畜産の発展は土壤の諸性質に関する人間の関与を増大させてきた。灌漑、排水等による耕作環境の改善、草原における放牧や畜産の発展と畜産廃棄物の土壤還元、品種改良、肥料や防除資材の使用、輪作体系など、様々な技術発展に伴い、動植物生産性の増大が実現し、人口増加に伴う食糧や生活資材の供給を可能にしてきた。

農業生産に直接関係している農耕地は、農業生産行動に伴う一定の変化は受けつつも、面積あたりの作物収穫量を増大させてきたが、それは経験的に地力の増大として意識されてきた。

農耕体系あるいは農法の適否により、地力の増減が生ずるとされ、地力の永続的維持が農業の持続的発展の基礎とされ、国あるいは民族の繁栄の本とされてきた。

この地力は自然体としての土壤に担われるが、その作物生産能力は一定の

社会的・経済的条件下で行使される栽培技術を通じて作物収穫量に反映して量的に比較可能な数値として把握され「地力」として感得される。

従って、地力の考察は、自然体としての土壤の諸性質を量的に表現する段階すなわち自然的肥沃度（自然地力）と、農業技術の行使の結果、特定の作物の収穫量として表現し、量的に把握される段階すなわち経済的肥沃度（経済地力）とに分けて考える必要がある。

人体と人の能力との関係になぞらえれば、例えば計算能力はそろばんを使うか、コンピュータを使用するかで大差が出るように、ある能力はその目的に応じて、社会経済的条件の発展に伴って、利用可能になる様々な手段を適当に組み合わせ、有効に利用することによって発揮されるので、土壤自体の性質とそれが生産の場で発揮される場合とは区別されなければならない。具体的な生産結果がなければ、土壤の生産能力（自然地力・経済地力）は判定出来ないという関係にある⁶¹⁾。

5-2) 自然的肥沃度（自然地力）

土壤は自然土壤に人間の手が加わり、耕地土壤となる。その際、灌漑・排水等の土地改良、堆厩肥や石灰投与などによる物理的・化学的・生物的性質の改良もおこなわれた。

耕地土壤の自然的肥沃度は土壤の諸性質の中に求められる。

容器性：作物の生育を支える土壤は、支持体としての適当な表土の厚さと膨軟性を持つ必要が有り、下層土を含めて、作物の要求を満たす必要がある。

物理性：植物根の生育に必要な水と酸素を十分に供給できるような、団粒構造の発達と土壤間隙の維持等。

化学性：植物栄養分の供給、あるいは可給態栄養分の保持等。

生物性：生物多様性の維持、有機性物質循環等。

これらの性質は相互に密接に関係し合って、生きている土壤の土壤生態系を構成し、作物生育の基礎的諸条件をあたえているので、適当な方法、手段、

物理的計測や化学的分析あるいは微生物的手法などにより、それらの性質を定量し数値化して表現し、個別的な土壌の自然肥沃度値を示すことになる。

作物生産においては、土壌は生産手段として関与すると同時に生産対象として影響を受けるので、これらの自然肥沃度指標も、作物生産に使用される各種操作、資材の影響を受ける。それ等の影響を個別的に検討し、目標とする自然肥沃度を維持し、さらに向上させるための技術行使が要求される。

土壌の可給態養分：作物生産上とくに重要なものとして、土壌の可給態養分があり、作物栽培実験などを通じ、その実験室的推定法が発展してきた。植物栄養学の発展は、作物生育に必要な栄養分の種類と必要量を生育過程に応じて明らかにし、土壌よりのそれら栄養分の供給能力が作物収穫量を左右するものであることを明らかにした。テアは「合理的農業の基礎」において、土壌の供給する栄養分の経営内における補給と輪作、農法による持続的確保が重要であるとし、厩肥供給による肥沃度維持を中心とした「合理的輪作体系」を樹立した。厩肥の分解生成物である腐植の供給可能性が肥沃度を表わすと考え、植物の生育を支配するのは植物栄養としての腐植の供給であるという「腐植説」を提唱した。

この「腐植説」を「無機栄養説」に置き換えたのはリービヒであり、土壌の肥沃さを与えるのは可給態の無機成分であり、経営内から供給される厩肥では、作物のより多収穫を望むには不足すると考え、経営外からの積極的無機質肥料の供給が必要であると主張した。リービヒは初期には腐植の中の無機元素のみに着目して、窒素肥料を軽視していたが、実際農業上で厩肥、有機物の分解から窒素が供給されることがわかった。

これら土壌有機物、鉍物などから作物生育期間中に利用可能になる諸成分の推定値、すなわち可給態養分量が測定されるようになった。養分元素の種類に応じて最も妥当とされる測定方法が開発されたが、最も力が注がれたものは、テア以来重視されてきた土壌有機物由来の窒素である。

窒素潜在地力

土壌分析から作物に供給可能な窒素量を推定するための独創的な発見は、

窒素潜在地力の概念提唱であろう。塩入松三郎⁶²⁾らは水稲作における水田から供給される窒素を研究する中で、湛水前に風乾処理を受けた土壤は無処理土壤と比べ、土壤有機物から供給される窒素が増加することを認め、この現象を乾土効果と名付けた。風乾土壤をインキュベーションする時間、温度を一定にして、相互比較が出来るようにした。この乾土効果値は実際栽培における土壤から供給される窒素量（地力窒素）と深い関係のある事に注目された。すなわち乾土効果は水稲栽培中に発現が期待される窒素量であると推定し、窒素潜在地力と呼んだ。さらに一般的に窒素潜在地力は作物に吸収可能な土壤窒素量の推定値であるとした。

乾土効果と同様に温度上昇にともない可給化する地温上昇効果、土壤アルカリ化に伴い発現するアルカリ効果、さらに塩類効果、攪拌効果などが知られている。これらはいずれも土壤微生物活性に依存するものであり、その発現は土壤管理条件に依存するところが大きいので、そのまま作物に吸収される窒素ではないので、吸収可能性のある土壤窒素、あるいは自然地力の構成分としての窒素（地力窒素）と考えられたのである。

なお、野本⁶³⁾は夙に「潜在地力」の意味と重要性を強調していた。彼は「地力を作物の生育に影響を有する土壤の物理的・化学的、並びに微生物学的性質の総合と理解し」「土壤は可変相であるから地力も当然可変的である。今土壤の現有する性質を表現地力と呼ぶことにすれば変化の過程に於いて発現し得べき性質即ち潜在せる土壤の性質を潜在地力と呼ぶことが出来る。」と考えた。ついで、潜在地力の発現を物質の変化としてとらえ、内外文献の紹介、水田土壤についての研究などを詳説し、「窒素的に見た潜在地力の発現は土壤腐植の無機化即ち土壤の Free Energy の減少過程に外ならないので潜在窒素を培養することなしに掠奪し続けるなら地力は漸次低下し作物の生産力も減退するであろう。潜在地力の培養とその利用。この相反的なものの均衡これが科学的農業のキポイントであると信じる。」と締め括っている。

地力増進基本指針

自然的肥沃度を構成する主要な因子を基準化し、客観的な数値として与え

るようにしたのが、地力増進基本指針⁶⁴⁾で、水田、畑、樹園地別に示されている基本的な改善目標値である。なお、土壤の基本的な改善目標値に欠けている生物的活性を示す各種指標（微生物多様性指標・指数）が加えられるのが望ましい。

これらの改善目標値に対する現実の数値が自然的肥沃度（自然地力）の相対的状态を現しているといるのであるが、土壤管理の状態によっては、不足のみならず過剰への隔たりも起こりうる。

作物栽培に際しては、開始時の自然肥沃度の状態を、土壤観察、土壤分析などの手段で認識した上で、適切な耕作法、農業資材、肥料などが使用されるが、この段階で地力問題は経済的肥沃度に移る。

5-3) 経済的肥沃度（経済地力）

一定の自然的肥沃度を持つ土壤を使用して、人間の行為としての作物生産活動が行われ、土壤能力が現実的に発揮される。

農業生産に際しては、土壤は労働手段であると同時に労働対象として現れ、生産目的である作物の種類に対応して、与えられた社会経済的条件の下で、農業機械・農具・役畜の使用、灌漑排水の実行、肥料・農薬の投与など適切な農業技術がセットとして行使される。この場合の技術内容に特に影響を与えるのは経営規模、労働力の状態、農業資材の価格、生産物の流通・市場価格等であり、それ等を考慮した経営的判断である。

地球環境問題の一環として農業の環境に及ぼす影響を考慮した農業生産方式が求められるようになり、1990年代よりは「農業の持つ物質循環機能を生かし、生産性との調和などに留意しつつ、化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業」としての環境保全型農業（有機農業）」の推進が始まり、経済的肥沃度発現に際しての適用技術手段の選択に一層の配慮が求められるようになってきている⁶⁵⁾。さらに温室効果ガス（メタン、亜酸化窒素等）の発生抑制技術も求められる。また、生産者の意識的選択により「化学的に合成された肥料及び農薬を使用しないこと並びに遺伝

子組換え技術を利用しないことを基本として、農業生産に由来する環境への負荷をできる限り低減した農業生産の方法を用いて行われる農業」と定義される有機農業⁶⁶⁾もある。

これらの条件の下において、農業者による選択が行われ、結果として、経営的に最善のものとしての生産活動が行われ、一定の収穫量が与えられる。ここにおいて土壤肥沃度は経済的肥沃度として現れる。

経済的肥沃度は、特定の作物に対して特定の気象条件における特定の技術の行使による作物収穫量として把握され計測可能になる。この作物収穫量の年次的平均量が、その土壤の地力として認識されているのであるが、これは比較的安定した自然的肥沃度（自然地力）をうちにはらんだ経済的肥沃度（経済地力）であり、面積あたりの作物収穫量として表現される点において土壤生産力と同意語となる。

しかし、農業実践上の感覚として得られる「地力」の現状や増減は、経済的肥沃度の増減であり、直接的に自然的肥沃度の増減を示すものではない。

5-4) 自然的肥沃度（自然地力）と経済的肥沃度（経済的地力）の相互浸透関係

以下、自然的肥沃度を自然地力、経済的肥沃度を経済地力と呼ぶことにする。

経済地力実現に際して行使された技術は、自然地力に影響する。場合によると負の影響、例えば、大型機械行使による硬い耕盤の形成、浅耕化、堆厩肥等有機物投入減による貯留炭素・窒素減、土壤物理性、土壤生物性の悪化。土壤改良資材投入減による化学性・物理性の悪化などがもたらされることもある。これらが次の作物生産量に負の影響を与えることが「地力の低下」「自然地力」の低下として認識され、逆の場合には「地力増強」として認識される。

土壤分析の結果として認識できる自然地力中の可給態養分の量に応じて、作物生育に不足する分が肥料（有機・無機肥料、土壤改良資材、堆厩肥な

ど)として与えられる。これ等の肥料のうち、当面の作物に利用されないものは自然地力に繰り込まれるか、あるいは環境に放出され、地下水の硝酸性窒素濃度の増大や河川・湖沼の富栄養化の原因ともなる。

一方で、例えばリン酸肥料の過剰施用により、自然地力計測において、標準値に比べてリン酸過剰になった土壌は、経済地力の発現においてリン酸肥料の施用減でも対応できず減収要因になることもある。

特に窒素の場合には潜在地力窒素の供給と化学肥料由来窒素の施用との関係が、作物生産の安定多収にとって重要になる。後者に依存しすぎると、前者の衰退を招くことすなわち自然地力が減退することもある。

堆肥などは土壌微生物作用により、自然地力構成成分としての物理性、化学性、生物性の改良の維持・増強に役立つことは周知のことであるが、経営的・経済的に標準量の確保や施用が困難な場合も多く、経済地力は確保されても、自然地力は減退することも認められる。

当面の土壌感染性の作物病虫害対策として使用された微生物資材中の有効微生物が、土壌中に残存し、例えば拮抗微生物として当該病虫害の土壌中の活動を弱めた結果、いわゆる拮抗土壌を創り、次作以降の作物栽培に好影響を与えることもある。この場合、自然地力は生物多様性において強化されたことになる。

近年における大型機械の走行による下層土の劣化、硬盤の形成なども自然地力の減退として認識され、心土破碎など適当な土地改良対策が必要になる。

田畑輪換などの輪作栽培においては、作物毎に経済地力が異なるが、自然地力に対する期待値も異なってくるので、注意深い対応が必要になる。連作障害などは直接的には経済地力の減退として現れるが、一応の栽培技術で対応できない場合、その原因を自然地力の減退に求められることも多い。作物の成分分析を含めて自然地力構成要素、特に潜在窒素供給源としての腐植類や微生物性などの調査により、自然地力の回復の方途を明らかにする必要がある。

経済地力発現を伴う作物生産後に自然地力が維持・増進していることが望ましいが、現実には経済性重視の農業が求められる現状においては、困難な場合も多い。

自然地力の劣化は徐々に起るが、劣化した自然地力の回復は容易ではなく、全体として農業生産力の減退、あるいは国の富の減退として捉えなければならぬようになる。

農業の持つ多面的機能を十分に評価し、その永続的繁栄のためにも、自然地力の維持増進のために、必要な農業経営外からの施策、農家経営安定策、食糧安全保障政策、農業後継者対策、その他多くの農業政策・研究が必要⁶⁷⁾となっている。

安定・増強された自然地力の上に立って、ゆとりのある農業諸技術の体系的適用により実現する経済地力が農業の持続的発展の証であり、希望であろう。

5-5) 地力とは

ここに至って改めて、一般的に「土壌の植物生産能力」として受け止められている「地力」についての考え方を纏めると次のようになる。

地力は自然地力および経済地力の両段階に分けられる。自然地力は土壌の植物栄養分供給を中心に物理性、化学性、生物性（微生物多様性を含む）の各種指標により計測される。経済的地力は特定の作物の面積あたり収穫量あるいは収益として計測される。この場合に経済地力を土地生産力と呼称することもできる。

自然地力は経済地力の発現を支える根拠であるが、一定の栽培体系あるいは、連作・輪作などの一連の動植物生産行為の遂行後において、その持続的維持あるいは増強がされる必要がある。

場合により土地生産性の低下が認められ、その原因として自然地力の低下に帰せられることもある。しかし、もとを糾せば劣化した労働力の状態の影響であるかも知れない。経済地力あるいは実効地力の発現に際しての諸条件

を吟味する必要があるが、自然地力の状態変化が最重要な検討事項になる。

自然地力の減退が明らかになった場合に、土壌は農業生産手段であると同時に農業生産対象でもあるという性質に則って、その修復は経済地力の発現過程でなされなければならない、そのための必要条件を作るための政策的対応も必要になろう。

自然地力の持続的維持の要とされているテア以来の土壌有機物水準の確保とそのための経営内有機物補給システム、経営外からのあるいは地域有機質資源循環システムを通じての有機物補給システムの確立が重要になっている。

あとかき

土を肥やすものとしての肥料の研究に長年月を費やしてきたが、肥えている土とは何かについての考察は、常に地力問題、地力とは何かという課題に突き当たった。時代々々における農業情勢の変化の下にあって、その都度見解をまとめ発表をしてきた⁶⁸⁾。その間現在に及ぶ間の多くの地力に関する研究発表、検討会などの結果も参考にして、現段階における「地力」に関する考え方を取りまとめた。

数知れない先人の功績を偲び、農業の基本となる「持続的地力維持」のための不断の努力がなされてきたことに敬意を表する次第である。

文 献

- 1) 農文協：日本農書全集、ルール電子図書館収録 (lib.ruralnet.or.jp)
- 2) 熊澤喜久雄：地力培養と土壌肥料 (1) (2) (3)、農業および園芸、54巻、151～162、369～373、488～494 (1979)
- 3) 江川友治：地力の考え方、農業構造問題研究、95巻 4～18 (1974)；高井康雄：地力低下の防止、地力維持のメカニズム、同誌、95巻 32～42 (1974)；横井利直：気象変動と地力問題、同誌、95巻 43～50 (1974)；尾形保：家畜ふん尿の合理的処理と利用、同誌、96巻 26～39 (1974)；遠藤登：神奈川県における家畜ふん尿の需給と利用状況、同誌、96巻 40～50 (1974)；藤原昭夫：古代史か

(44) 肥料と土壤肥沃度・地力についての考察

- らみた地力問題、同誌、98巻 4～17 (1974)；川田信一郎：作物の側からみた地力問題、同誌、99巻 46～54 (1974)；熊沢喜久雄：作物栄養からみた地力問題、同誌、99巻 55～65 (1974)；梶井功：地力維持の点からみた農業経営の問題点、同誌、100巻 41～47 (1975)；江島一浩：地力維持と農業経営のあり方、同誌、101巻 9～17 (1975)；馬場昭：事例からみた地力維持と農業経営、同誌、101巻 18～24 (1975)
- 4) 江島一浩：地力培養技術の農業経営からの検討、「日本の地力」、315～368
 - 5) 大内力：地力問題の展望と農政への提言、「日本の地力」、371～374
 - 6) 地力の研究会（第1回研究会記録）はしがき、(財)日本農業研究所（平成元年1月）
 - 7) 高橋彩子・佐藤久実・梅本英之・堂本晶子・松森 信・金田吉弘・伊藤豊彰・藤井弘志：水田土壤の地力低下の実態とその対策、土肥誌、86、332～338 (2015)
 - 8) 三木 伸司：愛媛県の農業と土壤肥料（土肥誌、75、529～530 (2004)、愛媛県農業試験場研究報告第37号 (2003)
 - 9) 石原 邦：作物栽培からみた最近の水田土壤の変化、農業、巻頭言2004年
 - 10) 亀和田国彦：栃木県の農業と土壤肥料—黒ボク土の理解と生産性向上、栃木県の農業と土壤肥料（土肥誌、73、755～756, 2004）；三浦吉則（福島県農業総合センター）：稲わら堆肥、稲わら長期連用水田における蓄積地力窒素による水稲の増収効果、農園82、1198～1202 (2007)；岡田正行：広島県における水田地力の現状と対策；宮川 修：石川県内の水田土壤の実態と改良対策；
 - 11) 安田典夫：三重県の農業と土壤肥料 土肥誌、75、753～754 (2004)
 - 12) 森 哲朗：寒冷地における水田地力の現状と地力対策
 - 13) 西田瑞彦（東北農研センター）：田畑輪換による地力の低下とその対策 (2011年)
 - 14) 廣川智子（富山県）田畑輪換による土壤肥沃度低下の要因と対策、グリーンレポート (2014-4)
 - 15) 松本静治：連作条件下における黒大豆～、土と微生物、60、75～77 (2006)
 - 16) 有原文二：水田転換畑の特徴と栽培のポイント（農文協、農業技術体系追録20号1998年）
 - 17) 高橋智紀：田んぼの土に現れ始めた異変、世界の土・日本の土は今、80～86、日本土壤肥料学会 (2015)
 - 18) 新良力也：長年の水田転作に伴う地力低下について、農業、1573号、30～41 (2013)
 - 19) 新良力也：輪作体系下の地力の問題と維持管理水田連作の新しいフレームワークと土壤学・植物栄養学の展開方向4）土肥誌、84、487～492 (2013)

- 20) マルサス著、永井義雄訳、人口論、中公文庫 (1973)
- 21) アダム・スミス著、水田 洋監訳、杉山忠平訳：国富論 (一) 27頁、岩波文庫
- 22) 同上、207頁
- 23) 同上、304頁
- 24) 同上、383頁
- 25) アルブレヒト・テア著、相川哲夫訳：合理的農業の基礎、上、中、下巻、農文協 (2007)
- 26) 熊澤喜久雄：テアの「合理的農業の原理」における土壌・肥料、肥料科学、第30号、89～138 (2008)
- 27) テア、合理的農業の基礎、上91 \$ 92
- 28) 同上、上266 \$ 252
- 29) 同上、上271 \$ 257
- 30) 同上、上267 \$ 253
- 31) 同上、上473～479
- 32) チューネン著、近藤康男訳「孤立國第一部＝穀値・土地肥力および租税が農業に及ぼす影響の研究」、近藤康男著作集、第1巻 (1974)
- 33) 同上、56頁
- 34) 同上、81～89頁
- 35) 同上、98～99頁
- 36) 友田清彦：グスタフ・ドレックスラーの農業重学—マックス・フェスカとの関連で、農村研究、第53号、17～40 (1981)
- 37) 熊澤喜久雄：リービヒと日本の農業、肥料科学、第1号、40～76 (1978)：リービヒと日本の農学、肥料科学、第25号、1～60 (2003)
- 38) 吉田武彦：リービヒ「化学の農業及び生理学への応用」再読、肥料科学、第25号、61～97 (2003)
- 39) Justus von Liebig: Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie、邦訳：横田徳郎訳：農学と生理学に応用した化学、私家版 (2005)；吉田武彦訳・解題：化学の農業および生理学への応用、北海道大学出版会 (2007)
- 40) 同上、徳田版、283～320；吉田版228～248
- 41) マルクス著、資本論翻訳委員会訳：資本論、第39章差額地代 I、新日本出版社新書版、12冊目、1143～1145 (1989)
- 42) 山田盛太郎：地代論、34～38、岩波全書 (1957)
- 43) G. W. Cooke: The Control of Soil Fertility, Rosby Lockwood & Son LTD
- 44) ゲラシーモフ、土壌地理学の基礎、築地書簡 (1963)
- 45) 加用信文：日本農法論、お茶の水書房 (1972)

- 46) 同上、129頁
- 47) 同上、135頁
- 48) 甲斐秀昭・橋元秀教共著：土壤腐植と有機物（土づくり講座 II）
- 49) 金野隆光、前田乾一・大久保隆弘共著：土づくりの原理（土づくり講座 II, 農文協、1975）
- 50) 熊田恭一：土壤有機物の化学（東大出版会、1977）
- 51) 渡辺兵力：農業技術論、龍溪書舎（1976）
- 52) 岡島秀夫：土壤肥沃度論、農文協（1976）
- 53) 麻生慶次郎：土壤と肥料、日本評論社（1938）
- 54) 石塚喜明：地力外論 農業技術 33巻3号、4号（1978）
- 55) 弘法健三：土壤生産力について（農業及び園芸25(1)、15～1）
- 56) 弘法健三：地力を考える（肥料科学、第6号、1～18、1983）
- 57) 江川友治：地力の考え方 農業構造問題研究 No.95、4～8（1974）
- 58) G.V.Jacks, The Biological Nature of Soil Productivity. Soils and Fert., 26, 147-150
- 59) 熊澤喜久雄：地力培養と土壤肥料（1）、（2）、（3）、農業および園芸、第54巻、157～162、369～373、488～494（1979）
- 60) 永塚鎮男：土壤生成分類学、7頁、養賢堂（2014）
- 61) 熊澤喜久雄：物質循環と地力問題、日本農業研究所講演会記録 No.5（1987）；地力をめぐって、農林中金研究センター、資源・環境保全型農林業研究シリーズ第5集（1988）
- 62) 塩入松三郎：土壤学研究、土壤肥料講話、朝倉書店（1952）に所載
- 63) 野本亀雄：潜在地力の活用、農業及園芸、25巻、31～34（1950）
- 64) 農林水産省：地力増進法及び関連法案、地力増進基本指針（平成20年改定）
www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/pdf/chi4.pdf
- 65) 熊澤喜久雄：日本の環境保全型農業の未来像（1）、（2）、農業および園芸、第70巻、553～560、631～646（1995）
- 66) 農林水産省：有機農業の推進に関する法律（平成18年法律第112号）
- 67) 日本学術会議農学委員会土壤科学分科会：提言—緩・急環境変動下における土壤科学の基盤整備と研究強化の必要性、平成28年（2016）1月28日
- 68) 熊澤喜久雄：日本における施肥技術の変遷と現状（三井進午と共著）日本農業年報、第8集（1958）；土壤肥料学の研究史と今日の問題—特に第二次世界大戦後を中心として—、農業技術協会（1962）；施肥と地力、圃場と土壤（1974-9）；地力論をめぐって、農業の基本問題に関する調査研究報告書3、農政調査委員会（1977）；地力培養と土壤肥料、農業及び園芸（1979）；地力について、圃場と土壤（1984-10）；土壤肥料学からみた現在の地力問題、農業と経済

(1984-10)：物質循環と地力問題、日本農業研究所、講演 (1987-6)：地力をめぐって、農林中金研究センター、研究会 (1988-9)