



稲作農業の発展 : 日本からアジアへ、さらにアフリカへ (〈特集〉「開発経済史」のフロンティア)

大塚, 啓二郎
速水, 佑次郎

(Citation)

国民経済雑誌, 219(1):1-20

(Issue Date)

2019-01-10

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/E0041678>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/E0041678>



稲作農業の発展：
日本からアジアへ，さらにアフリカへ

大 塚 啓 二 郎
速 水 佑 次 郎

国民経済雑誌 第 219 卷 第 1 号 抜刷

2019 年 1 月

稲作農業の発展： 日本からアジアへ，さらにアフリカへ

大 塚 啓 二 郎^a
速 水 佑 次 郎^b

1960年代の熱帯アジアでは、人口が爆発的に成長している一方で、耕地拡大の余地は限られ、土地あたりの収量は停滞し、食糧生産の伸びは鈍く、深刻な食糧不足が不可避であると考えられていた。それを救ったのが、高収量品種の開発と普及による「緑の革命」であった。それは、温帯に位置する日本で明治期に確立された集約的稲作農業の熱帯アジアへの技術移転の成果に他ならなかった。1960年代中期に始まった緑の革命のおかげで、1990年頃までにアジアのコメの収量は倍増し、その生産量は3倍にまで増大した。その結果、食糧生産の伸びは人口の伸びをはるかに凌駕し、食糧危機の恐れは消え去ったのである。しかし1990年代以降、アフリカは1960年代のアジアと同じような状況にある。そのため、どのようにしたらアフリカで緑の革命を起こせるかが、重要な問題になっている。そこで本稿では、長期的歴史的視点をふまえて、アフリカの緑の革命の可能性とそれを実現する方策を探る。

キーワード 食糧危機、緑の革命、日本、熱帯アジア、アフリカ

1 序

良く知られているように、Malthus は人口が幾何級数的に増加するのに対して、食糧生産は等差級数的にしか増加しないため、長期的に飢餓は不可避であると予測していた。その予測が正しいかのように、1960年代の熱帯アジア（東南アジアと南アジア）では、人口成長率が食糧生産の増加率をはるかに上回り、将来的に大規模な飢餓が不可避であると考えられていた（Meadows et al. 1972）。しかしその後、飢餓は実際には起こっていないから Malthus の予言は正しくなかった。しかし歴史を繙くと、食糧が不足し Malthus の予言がほぼ妥当しそうな局面が見られた（Otsuka 2013）。Malthus が間違っていたのは、食糧不足という危

a 神戸大学社会システムイノベーションセンター、otsuka@econ.kobe-u.ac.jp（責任著者）

b 東京都立大学名誉教授

機的な状況が迫ると、増産技術の開発が誘発され、それによって食糧生産の伸びが人口成長率を上回るようになる可能性を過少評価していたことである (Hayami and Ruttan 1985)。

実際問題、熱帯アジアではコメや小麦の高収量品種の開発と普及を骨子とする緑の革命が1960年代中期に始まり、1970年代から80年代にかけて穀物の大増産が実現され、人口の増加にもかかわらず、食糧問題は解決に至ったのである (David and Otsuka 1994)。しかしながら、サハラ砂漠以南のアフリカ (SSA) では、1960年代のアジア的状况にあるにもかかわらず、緑の革命が起こっていない (Otsuka and Larson 2013, 2016)。このままでは、SSAにおいて食糧危機が起こっても不思議ではない。しかも農業はSSAの基幹産業であるから、農業が不振であるということは経済全体の不振につながる。

本論で最初に問題にしたいのは、熱帯アジアにおいてどのようにして水稻の緑の革命が起こったかという点である。そのために、緑の革命の原型であるといわれる明治期の日本の稲作農業の集約化、戦前期の日本から台湾や韓国への稲作技術の移転、そして熱帯アジアの緑の革命の展開を振り返ることにする。Hayami and Godo (2005) は、アジアの緑の革命の本質は、肥料感応的な高収量品種、肥料の増投、そして集約的な栽培技術によって特徴付けられる明治期の日本の稲作農法の熱帯地域への移転であると主張している。農業経済学者である Dalrymple (1986), Hsieh and Ruttan (1967), および農学者である田中 (2012), 田中・今井 (2006) も同様の主張を展開している。本稿では、こうした主張の妥当性を検討することにした。

熱帯アジアの在来品種は一般に背が高く、肥料を大量に投入すると倒伏してしまうが、緑の革命で採用された高収量品種は半矮性と呼ばれて背が低く、茎が太く、肥料に対する感応性が高い。明治期に採用された日本の稲の品種が半矮性であったかどうかは必ずしも定かではないが、Dalrymple (1986) は半矮性の品種があったと断言している。こうした品種は両対戦間に台湾に移転され、やがて半矮性の台湾の品種が、フィリピンにある国際稲研究所 (IRRI) が1966年に最初に開発した奇跡の品種である、IR 8 の交配につながっていくのである。ただしこの台湾の品種が、日本人が開発した品種であったかどうかは不明である。

温帯に位置する日本の稲作技術を気候風土が大きく異なる熱帯アジアに移転することの難しさは、想像に難くない。IR 8 の片親はインドネシアの品種であり、熱帯の風土に合う遺伝子を IR 8 に付与した。他方、台湾の品種は IR 8 に高収量性という形質を植えつけたのである。ここでわく疑問は、半世紀も以前に熱帯アジアは緑の革命を開始したのに、なぜ SSA がいまだに緑の革命を実現できていないかという点である。しかも熱帯アジアも SSA の熱帯に位置しており、気候風土が大きく異なるわけではない。アフリカでも、IRRI が開発した品種が高収量性を発揮している事例は数多くある。例えば、ケニアのムウェア灌漑地区では、IRRI 系統の品種は1ヘクタール当たり8トンという驚異的な高収量を記録している。

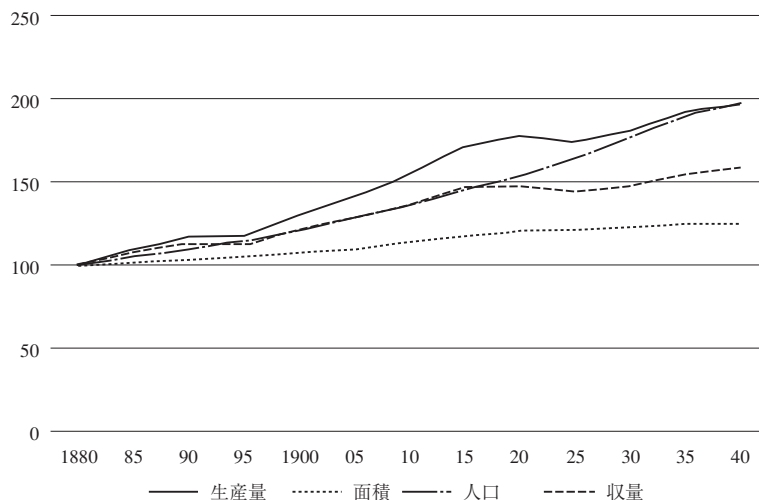
現在の熱帯アジアの平均収量が4トンを上回る程度であるから，8トンという数値がいかに高いかが，理解できるであろう。しかしそれは例外的なケースであり，アフリカの稲作の平均収量は2²⁾トンをやや超えた程度である。これまでなぜSSAは，緑の革命に失敗してきたのか，それを究明することが，本稿の主題である。

以下第2節では，戦前期の日本の稲作と日本から台湾と韓国への稲作技術の移転について概観し，第3節ではアジアの緑の革命について議論し，第4節でSSAにおける稲作の緑の革命の可能性について考察する。最後の第5節では，まとめと今後の展望を行う。

2 戦前期日本の稲作農業の展開

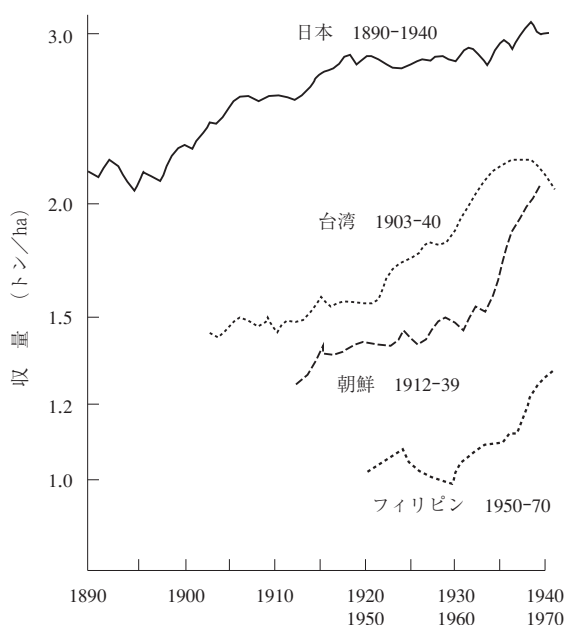
明治期（1868-1912年）の日本では，耕地拡大の余地はほとんどなく，Malthusが予想していたように，人口増加に対応して食糧生産の増加を図ることが大きな課題であった。土地が希少であったことを反映して，平均農家規模は約1ヘクタールという零細ぶりであった。しかし，図1に示したように1880年から1915年にかけては，コメを主体とする穀物生産の伸びは，作付面積がほとんど増えなかったにもかかわらず，面積当たりの収量増加によって人口の伸びを大きく上回ったのである。ところが1915年をすぎた時点で，収量の伸びは止まり，それに呼応して穀物生産の伸びも止まってしまった。その結果，人口一人当たりの穀物生産量は減少に転じ，食糧不足が深刻化してきた。米価が高騰し，1918年には米騒動が起こった。暴徒化した一般大衆が，米穀商を襲うという事態が発生したのである。これはMalthus的

図1 戦前期の日本における穀物生産量，作付面積，人口，土地当たり収量の変化（指数：1880=100）



出所：Umemura et al. (1966)

図2 戦前期日本、台湾、朝鮮と戦後のフィリピンにおけるコメのヘクタール当たりの収量の変化、5カ年移動平均



出所：Hayami and Godo (2005, p. 101)

危機と呼んでもいい状況である。しかもその危機に対応して、穀物の収量が増大することにはなかった。穀物、特にコメは「賃金財」であり、労働者の賃金の相当な部分はその購入に当てられていたから、労働者の実質賃金は下落し、社会不安と経済的混乱を招くことになったのである。

図2に示したように、³⁾1915年以前に穀物の生産や収量が増大した大きな理由は、コメの単収が増大したことにある。Hayami and Godo (2005, p. 99)によれば、「明治期の日本では、いわゆる老農と呼ばれる先進的な農民の試行錯誤によって、現在の近代品種と類似したコメの品種が選抜された。」⁴⁾近代品種は半矮性で背が低いばかりでなく、茎が太く、施肥の収量効果が高い。明治期の日本の水稻品種がどこまで半矮性であったかは、明らかではないが、Dalrymple (1986)は、明治期の最も代表的な水稻品種の一つである神力は半矮性であったと指摘している。いずれにせよ、当時の改良品種が、近代品種と同じように肥料の増投に対して倒伏することなく、高収量を発揮したことは疑いない。そうした高収量品種は西日本で普及し、1895年から1990年にかけて収量の増加をもたらした。それがやがて老農の手によって、東日本の風土に合うように改良され、5年から10年の遅れを伴ってこの地域の収量を増大させることになった。しかしながら、こうした老農品種が全ての地域に普及した段階で、収量の停滞と生産量の頭打ちが起こったのである。1930年代になると、再び収量が増大して

いるが、これは明治期に確立した科学的な農業試験研究の成果が、ラグを伴って発揮されたからである。

米価の高騰と輸入米の増加による外貨の損失を憂慮した明治政府は、当時植民地であった朝鮮と台湾でコメを増産し、それを輸入するという政策に舵をきった。そのために、日本政府は朝鮮と台湾において灌漑投資を積極的に行い、コメの試験研究と普及の体制を整えたのである。また、日本の優良品種を朝鮮や台湾で栽培するとともに、台湾では熱帯向けの品種であるインディカ種と日本稲の交配を行い、⁵⁾ 蓬莱米と呼ばれる肥料感応的な高収量品種の開発に成功した (Hayami and Ruttan 1985, pp. 280-92)。田中・今井 (2006) は、台湾での稲作生産の拡大は、品種と肥料と灌漑をベースとする日本の稲作農法の移転によって可能になったと述べている。Hayami and Ruttan (1985, p. 27) は、「1920年代に開発された蓬莱米の経済的意義は、現在の熱帯アジアで普及している近代品種とその本質において変わるものではない」と指摘している。同様に、Hsieh and Ruttan (1967) は、肥料感応性という点でも、潜在的収量の高さから見ても、1920年代中期に開発された蓬莱米は、1960年代に熱帯アジアで開発された近代品種に極めて類似していると述べている。

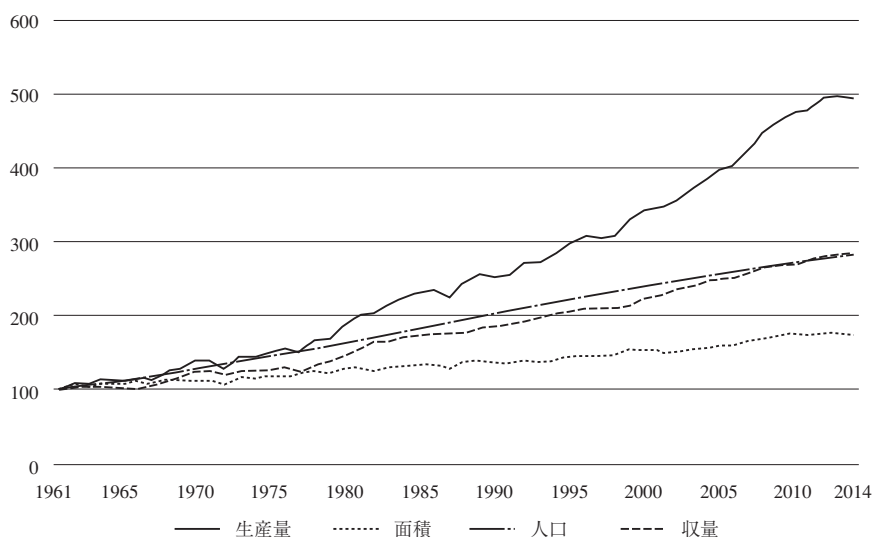
図2に示したように、台湾のコメの収量は1910年代に徐々に増加し始め、1920年代に劇的に増加した。1924年に開発された対中65号が最初の蓬莱米であり、台湾のコメの収量の増加傾向は蓬莱米の開発と軌を一にしていたことがうかがわれる (田中 2012)。コメの増産政策は朝鮮では、なかなか大きな成果をあげることができなかったが、これは灌漑比率が低かったことに起因すると言われている。とはいえ朝鮮でも、1930年代になるとコメの収量が目に見えて増加するようになった。

かくして灌漑投資、適応的農業試験研究、普及体制の整備を伴いながら、日本の明治農法の台湾や朝鮮への移転は大きな成功を収めたのである。台湾や朝鮮で増産されたコメは、日本に輸出され日本の経済社会の安定化に貢献したのである。

3 熱帯アジアの緑の革命

当時ショッキングな報告として大きな話題となったローマクラブの『成長の限界』 (Meadows et al. 1972) の議論を待つまでもなく、アジア農業に携わった多くの人々は、将来の熱帯アジアの食糧需給に完全に危機感を抱いていた。人口は3%近いスピードで爆発的に増加しており、他方で耕地面積の拡大の余地はなく、収量も停滞していたのであるから、そう考えるのは当然であった (Barker and Herdt 1985)。図3に示したように、1960年代の熱帯アジアにおいては、人口の増加と穀物生産の増加のスピードはほぼ拮抗していた。しかしながら穀物生産は不安定に推移しており、Malthus 的な食糧不足が、たとえ短期的にせよ起こってもおかしくない危険な状況にあった。事実、1965-66年に穀物生産が減少している

図3 熱帯アジアにおける穀物生産量、収穫面積、人口、土地当たり収量の変化
(指数：1961=100)



出所：FAOSTAT (2016)

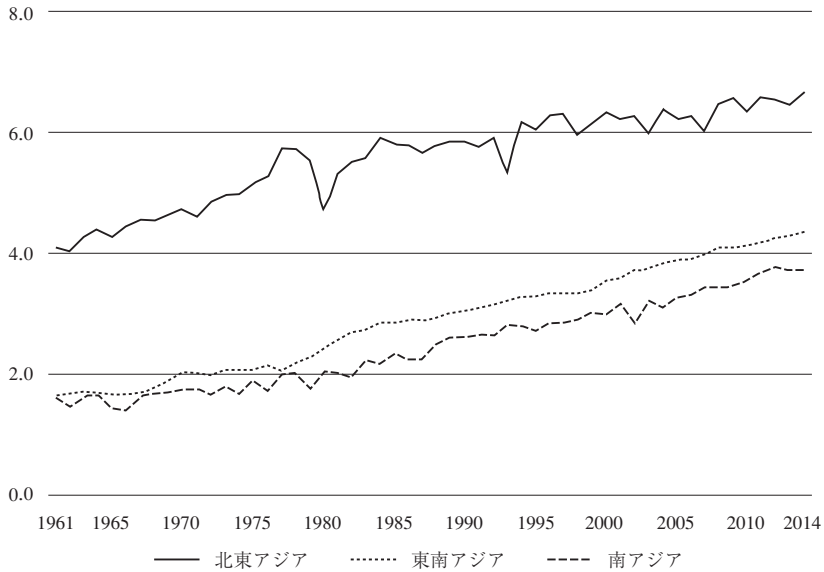
のは、インドの西部（特に西ベンガル州）で早魃があったからであり、それは将来の食糧不足を予感させるものであった。

ところが、1960年代中期から穀物生産が増加し始め、1970年以降順調に増加を続け、人口増加のトレンドを大きく上回るようになった。この増加は、耕地面積の増加を伴うものではなく、もっぱら土地あたりの収量の増加によるものであった。つまり、これこそが緑の革命の成果であった。緑の革命は主にコメと小麦で起こったが、多くのアジアの国々の主食であるコメがはるかに重要であったことは言を俟たない。

図4によれば、東南アジアのコメのヘクタールあたりの収量は、IRRIがIR8を開発した1966年ごろから増加している。しかしながら、1970年代前半はほとんど収量が増加していない。これは、初期の近代品種に病虫害抵抗性が弱かったことに大きな原因がある⁶⁾。1976年には、病虫害抵抗性の強い最初の近代品種IR36が開発され、その後の増収につながっていった(David and Otsuka 1994)。東南アジアのコメの収量は北東アジア（台湾、韓国、日本）の水準には到達できていないものの、1960年代初頭の2トン以下の水準から、4トンを越える水準にまで到達したことは、大きく評価されてしかるべきであろう。

IRRIは、ロックフェラー財団とフォード財団の支援のもとに1960年に設立された国際農業試験機関である。当時は、日本が稲の研究において世界の最先端にいたため、日本人研究者のIRRIでの貢献は絶大なものがあった。日本ではあまり知られていないが、日本人研究

図4 北東アジア、東南アジア、南アジアにおける水稻の収量の推移



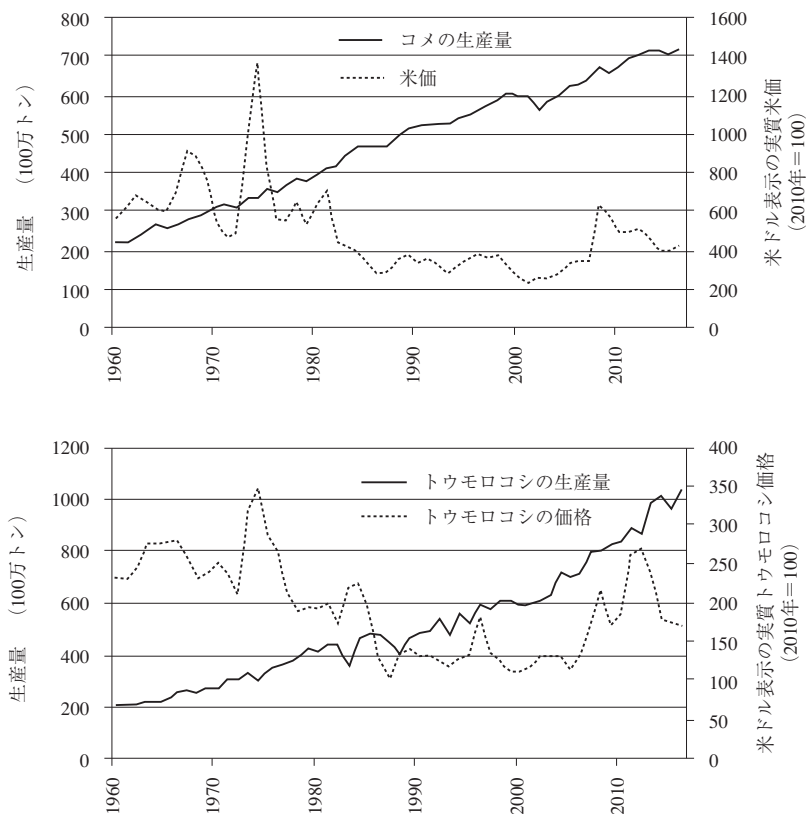
出所：FAOSTAT (2016)

者はIR 8の開発に大きく貢献したのである。また、緑の革命のエッセンスは、高収量品種の開発と普及であり、それは明治期の日本の稲作が目指した開発方向と完全に一致している。Hayami and Godo (2005, p. 97) は、「IR 8は日本の高収量品種をモデルとして開発されたものである」と結論付けている。

フィリピンにあるIRRIの研究成果は、フィリピンだけに恩恵を与えたのではない。インドネシアでは、IR系統の品種がそのまま採用可能であったし、台風のない良好な気候の下で、フィリピン以上に高い収量を記録した。そればかりではない。IR系統の品種は品種改良のための資源として多くの国々で利用されることになるのである。つまりIRRIは、国際的公共財を開発しているのであり、現在は多くの国々や国際機関がその活動を支援している。

IRRIの研究開発の成果は、5年から10年のラグを伴って、南アジアでも効果を発揮した。IR系統の品種がインドやバングラデッシュでそのまま栽培されることもあったが、地元の品種との交配でさらに異なる風土や環境に適した品種が開発されたことが大きい (Janaiah et al. 2005)。その結果、1980年以降の南アジアの収量は、東南アジアのそれとほぼ同じ歩調で増大することになった。なお、前者の収量水準は後者より低い、それは灌漑比率が南アジアで低いことに大きな原因がある。いずれにせよ、改良品種がスムーズに東南アジアから南アジアに移転されたことは、近代的な稲作技術の「国際的移転可能性」の高さを示唆するものである。かくして熱帯アジア全体の稲作技術が向上し、コメの持続的な生産の増大につ

図5 コメとトウモロコシの世界全体の生産量と実質価格の推移



出所：United States Department of Agriculture database

なだったのである。

それでは、緑の革命による熱帯アジアでのコメの増産は、稲作農民の生活水準の向上につながったのであろうか。答えは否である。もし、非常に限られた地域で増産が起こったのであれば、米価の値崩れはほとんどないであろうから、新技術を採用した農家の所得は向上するはずである。しかしながら、多くの国々の多くの地域で農民が一斉に増産した場合には値崩れが起こる。特にコメのような必需品の場合には、需要の価格弾力性が小さいために、値崩れが激しいのである。つまり、「豊作貧乏」と同じことが起こってしまう。図5の上の図で示したように、緑の革命の期間、実質米価は大幅に下落した⁷⁾。1974年の異常な米価の高騰を除けば、1970年から2000年にかけて実質米価はほぼ $1/3$ にまで下落した。生産費が $1/3$ まで下がることはありえないから、「平均的な」農家は損失を被ったはずである。しかも、近代品種が増収効果を発揮しない早魃地帯や深水地帯の農家は、米価が下落ただけで生産性は向上しなかったから、所得の大幅な減少を余儀なくされた (David and Otsuka 1994)。

またアジアの緑の革命の成功のために米価が下落したことは、アフリカの稲作農家の生産意欲を減退させ、緑の革命の実現を困難にしたという側面もあるであろう。トウモロコシについても同様であり、図5の下の方図に示したように、1970年代中ごろから2005年くらいにかけて実質価格が下落した。これは、トウモロコシの生産性が上昇したばかりでなく、消費財として代替性の高いコメやその他の穀物の価格が下落したことが関係したであろう。かくして、緑の革命の第1ラウンドにおける、農家の所得への効果はマイナスであったと考えられる。

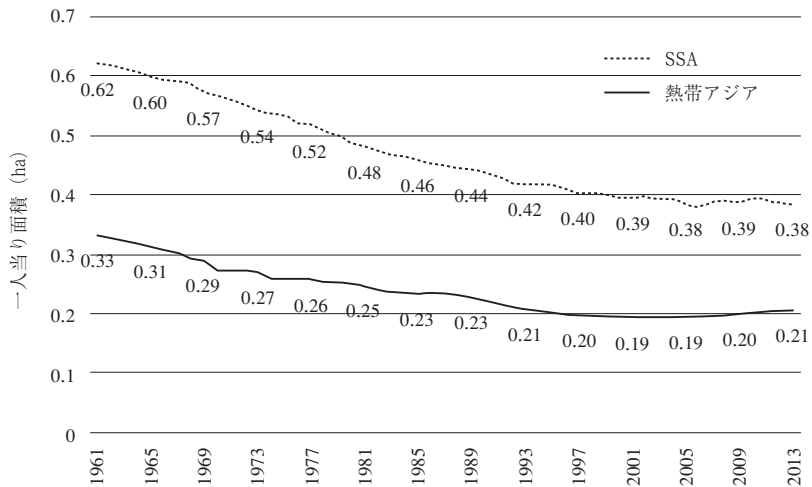
緑の革命の恩恵に浴したのは、消費者である。特に穀物への消費支出の割合の高い都市の労働者の実質賃金は上昇したはずである。こうした状況を受けて、「一般均衡」⁹⁾的効果が働き、経済全体が潤ったはずである。これは、緑の革命が生産可能性曲線を右上にシフトさせたことを考えれば、自明である。この第2ラウンドの効果によって、非農業部門が発展し、農家のメンバーが新たな職を得たり、農産物需要が増大したりして、農家にも恩恵が及んだはずである（Otsuka et al. 2009; Estudillo and Otsuka 2016）。いずれにせよ、緑の革命が起これば、食糧不足が深刻化し、米価が高騰し、飢餓が発生するような状況と比べれば、熱帯アジアの経済は潤い、社会も安定化したと想定される。

4 SSA における緑の革命の可能性

Boserup (1965) は、希少な農地への人口圧力は、農民の自発的努力によって土地節約的かつ労働集約的な栽培法の採用を促し、それが土地当たりの収量を増大させるから、人口増加は食糧不足をもたらさないと主張した。しかしこの議論は、歴史的事実と必ずしも整合的ではない。すでに検討したように、戦前期の日本では人口圧力は高まったが、稲作の収量は増大しなかった。また、熱帯アジアで収量が増大したのは、緑の革命という収量増大的な技術の進歩があったからであり、単に農民が既存の技術を採用したからではない。そこで Hayami and Ruttan (1985) は、人口圧力は労働使用的・土地節約的技術進歩を誘発するという誘発的技術進歩論を展開した。さらに彼らは、人口圧力は技術進歩をサポートするような制度的革新、例えば国際農業試験機関の設立や技術普及制度の整備をも誘発すると主張した。明らかに熱帯アジアの経験は、Boserup よりも Hayami and Ruttan の議論が妥当することを示している。

SSA では、一部の国は人口に比べて広大な国土を有しているが、図6に示したように、平均的には、農地面積と農村人口の比率は急激に減少しつつある。その結果、現在の SSA の平均的な農地・人口比率は、緑の革命前夜の1960年代前半の熱帯アジアの状況にかなり近い。SSA の雨量は全般的に熱帯アジアのそれより少ないから、その差を考えれば SSA の実質的な農地・人口比率は、半世紀前のアジアとほぼ等しいと言えるであろう。にもかかわらず、後に検討するように、SSA の穀物収量の増加は芳しくない。したがって、Boserup の議

図6 熱帯アジアとサブサハラアフリカ（SSA）の農村人口一人当たりの耕作面積



出所：FAOSTAT (2016)

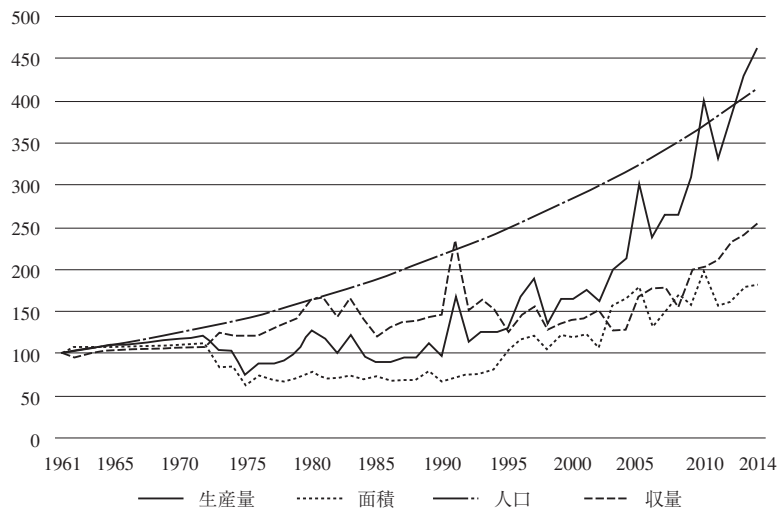
論は成立しないように思われる。またもし Hayami and Ruttan の議論が正しいとすれば、緑の革命の萌芽が観察されてしかるべきである。

図7には、SSAにおける人口、穀物生産量、収穫面積、穀物の収量の推移を示した。この図から明らかなように、1961年から2000年ごろまでは、人口増加のスピードが穀物生産量のそれを上回っていた。これは、アジアの1960年代の状況よりも厳しい Malthus 的状況であると言っても過言ではない（図3を参照）。2000年ごろにおいては、SSAの穀物の需給バランスが崩れ、深刻な食糧不足を予感させる状況であった。しかしここで注目すべきは、その後の展開である。つまり、その後は穀物生産の伸びが人口成長を上回るようになったのである。それだけではない。穀物生産の増大は、農地面積の増大にもっぱら依存したのではなく、収量の増大によって実現されている。

そうした収量の増大は、Boserup (1965) や Hayami and Ruttan (1985) の議論と整合性があるように思われる。問題はこの収量の増大化傾向が、本格的な緑の革命の始まりを意味しているかである。日本の戦前の経験や戦後の熱帯アジアの経験からして、収量を増大するには、技術進歩によって集約的な農業を実現する必要がある。そこで、SSAと気候風土が比較的類似しているインドの収量を穀物別に比較検討しようと思う。インドは、コメや小麦の緑の革命に成功した代表的なアジアの国である。¹¹⁾

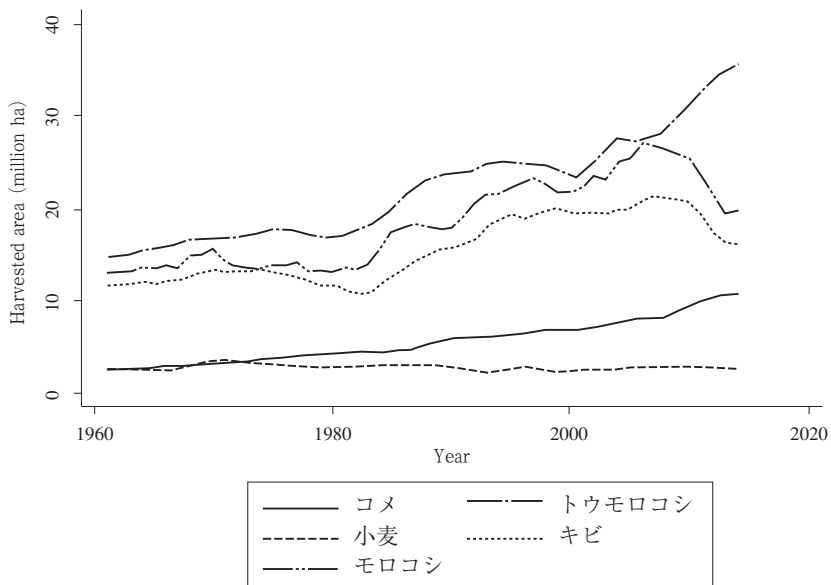
穀物別の収量比較の前に、図8を用いて代表的な穀物の収穫面積を比較しておこう。まず明らかなことは、面積的にトウモロコシが圧倒的に重要であるということである。しかもその収穫面積は増え続けている。キビ (millet) やモロコシ (sorghum) はトウモロコシには

図7 SSAにおける穀物生産量、収穫面積、人口、土地当たり収量の変化
(指数：1961=100)



出所：FAOSTAT (2016)

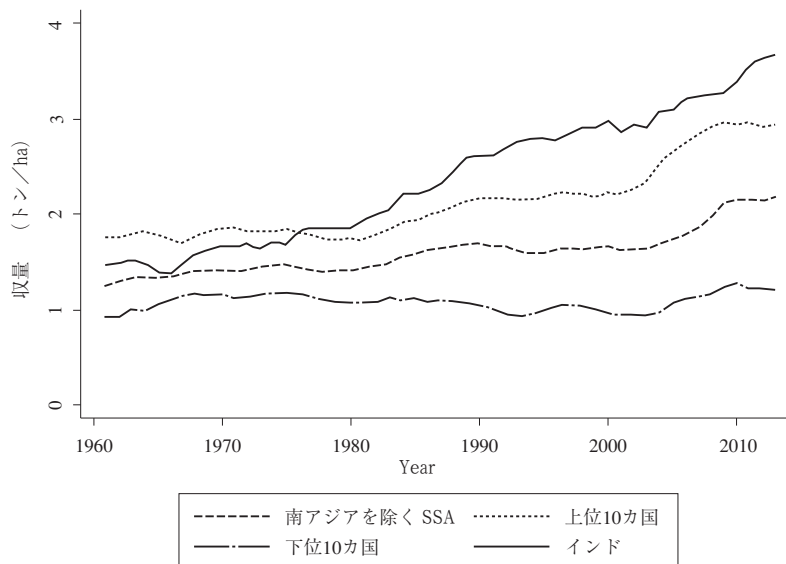
図8 SSAにおける主要な穀物の収穫面積の推移



出所：FAOSTAT (2016)

劣るものの、相当に重要性が高い。ただしこれらは、トウモロコシに代替され、最近になって収穫面積が急減している。キビやモロコシは収量が低迷しており、今後とも収穫面積は減

図9 コメの収量の SSA の平均、トップ10カ国、下位10カ国、とインドとの比較



出所：FAOSTAT (2015)

少する公算が高い (Otsuka and Muraoka 2017)¹²⁾。コメの収穫面積は、上述の3種類の穀物より少ないが、着実に増加を続けている。これは、最後の未利用地である湿地帯が水田に転換されているためであろう。小麦の収穫面積はコメよりはるかに小さく、低迷している。小麦は温帯向けの作物であるために、南アフリカや東アフリカの高地でのみ栽培が可能であり、収穫面積の拡大の余地は小さい。小麦の収量は熱帯アジアのそれに相当するが、SSAでの小麦の増産の可能性は低いであろう。そこで以下では、より有望と思われるトウモロコシとコメの収量の増大の可能性について、検討することにしよう。

図9には、インドとSSAの平均収量に加えて、SSAの上位10カ国と下位10カ国の平均収量の推移を示した¹⁴⁾。上位10カ国の収量を示したのは、SSAの稲作先進地域で高い収量を記録しているかどうかを検討するためである。もしそれが高いとすれば、SSAの稲作の潜在的収量の高さを示唆することになろう。興味深いことに、緑の革命が本格化する以前の1960年代においては、SSAとインドの収量格差はわずかなものであった。このことは、自然的な気候風土の面で、SSAがインドに大きく劣ることはないことを示唆している。Nakano and Otsuka (2011)によれば、ウガンダのドホ灌漑地区では、20年以上も無肥料で2期作を行ってきたにもかかわらず、土壌が大きく傷むこともなく、ヘクタール当たり3トンという収量を記録している。またNakano et al. (2018a)によれば、天水田地域にもかかわらず、タンザニアのキロンベロ地域では集約的な栽培方法が採用されると、5トンという高収量を実現している。天水田地域で、このような高収量を実現されたということは、生産環境がコメの

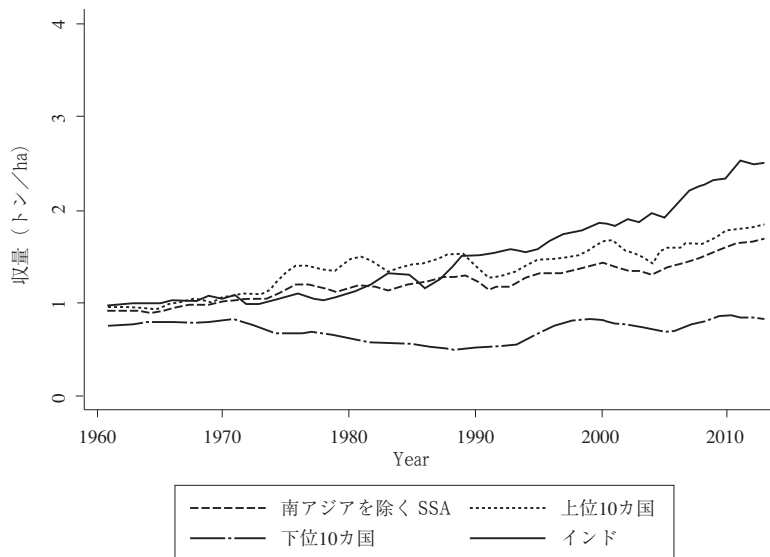
稲作に適している証であろう。また、本特集号で中野が報告しているタンザニアの灌漑水田では、4～5トンの収量が記録されている。さらに deGraft-Johnson et al. (2014) は、ガーナの天水田地帯では伝統的な栽培方法では1.5トン程度の収量であるが、近代品種や進んだ栽培技術を採用すると、2.5トン程度まで収量が増大することを示している。2.5トンという収量は、1980年代後半のアジアの天水田地帯の収量に匹敵している (David and Otsuka 1994)。こうしたデータは、ウガンダやタンザニアではコメの生産環境がきわめて良好であり、ガーナでも相当な収量が実現可能なことを示している。こうした事例研究の成果をどこまで一般化できるかは疑問であるが、Balasubramanian et al. (2007) の農学的な視点からの SSA の稲作の展望論文も、SSA の潜在的収量はきわめて高いと結論している。筆者が7カ国の SSA の稲作地帯を訪問した経験から言えば、SSA の天水田は谷状の窪地に位置することが多く、湿地的で土地が肥沃で、とりわけ水稻栽培に適しているように思われる。

次に指摘したいことは、インドの収量がフィリピンで1966年に IR 8 が開発されたその直後から増大を開始していることである。これは、近代品種の東南アジアから南アジアへの移転可能性の高さを示している。またインドを含むアジアでは、近代品種の開発が灌漑投資の収益率を高め、灌漑面積を増加させたことが (Hayami and Kikuchi 1978)、技術の移転可能性を高めた面がある。著者自身の経験によれば、SSA では IRRI が開発した品種や、IRRI 系統の品種と掛け合わせた品種が栽培されているケースが、多々見られる。これも、水稻の近代品種の高い地域間移転性を示すものであろう。

もう一つ興味深い点は、SSA のトップ10カ国の平均収量が SSA の平均よりはるかに高く、インドと遜色のないことである。これは、SSA の先進地域では、緑の革命がすでに起こっていることを物語るものであろう。事実、SSA の灌漑地域では収量が5トンを越えることは珍しくなく (Otsuka and Larson 2016)、それはインドの平均収量よりも、またアジアの平均収量である4トン強をも上回るものである。

水稻の収量は、灌漑の有無によって大きく左右される (David and Otsuka 1994; Otsuka and Hayami 1994)。Njeru et al. (2016) は、横軸にヘクタール当たりの肥料投入量を取り、縦軸にヘクタール当たりの収量を取って、アジアと SSA の灌漑地帯で実施された各種の事例研究のデータをプロットすると、両地域は同一の「生産関数」上にあるように見えることを発見した。そうであるとすれば、SSA の灌漑地域における収量が低いのは技術水準が低いからではなく、肥料の実質価格が高いために、肥料投入が少ないからであるということになる。Balasubramanian et al. (2007) によれば、SSA の稲の栽培面積に中で灌漑があるのは15%にとどまる。他方、上位10カ国では灌漑面積比率はおよそ50%である。つまり、灌漑があればアジアからの稲作技術の移転可能性は高まり、限定された地域とは言え、緑の革命が実現されていると考えることができよう。

図10 トウモロコシの収量の SSA の平均、トップ10カ国、下位10カ国、インドとの比較



出所：FAOSTAT (2015)

最後に、きわめて重大なことは、2005年頃を境に SSA の稲作の収量が急増したことである。2008年の米価の高騰があったとはいえ、この収量の増加は緑の革命の予兆を感じさせるものがある。実際問題、適応的研究によって SSA でも多くのアジア型高収量品種が開発されてきた (Yamano et al. 2016)。

コメとの比較のために、図10では、トウモロコシの収量について SSA とインドの比較を行った。第1に指摘できることは、コメと同じかそれ以上に、1960年代の収量はインドと SSA で相違がなかった。これは両地域で、気候風土があまり違わなかったことを示唆するものであろう。第2に、インドでは1980年代中ごろからトウモロコシの緑の革命が始まり、SSA との間にヘクタール当たり 1 トン程度の収量格差が生まれたことが指摘できる。Smale et al. (2013) が指摘するように、トウモロコシの改良品種は地域特性が強く、アジアの品種の SSA への直接的移転可能性は低い。その想定と符合するように、SSA のトップ10諸国のトウモロコシの収量は、SSA の平均と比較してもあまり高くなく、インドのそれよりはるかに低い¹⁵⁾。つまり、SSA ではトウモロコシの先進地域でも、緑の革命は本格的には起こっていないのである。とは言え、コメと同じく、トウモロコシの収量は2005年以降は上昇傾向にある。Otsuka and Muraoka (2017) の文献サーベイによれば、地域的には限定されるかもしれないものの、ハイブリッドと言われる改良品種の採用面積は増加傾向にあり、化学肥料や有機肥料 (例えば堆肥) の投入量が増え、空中窒素の固定能力のある豆類との混作が盛ん

になりつつある。さらに、少なくとも東アフリカでは、人口圧力の高まりとともに、市場が機能し始め、土壌の肥沃度が回復するような技術の採用（例えば、空中窒素固定が出来る樹木の利用）が増加しつつある（Yamano et al. 2011）。したがって、トウモロコシでも緑の革命の兆しがないわけではない。

最大の問題は、果たして本格的な緑の革命が SSA で起こりうるかであり、そのためには何をしなければならないかである。Otsuka and Larson (2013, 2016) は、SSA において水稻が最も有望な作物であると主張している。なぜならば、すでに指摘したように、アジアからの技術の移転可能性が高いからである。この主張は、集約的な稲作の栽培技術が日本から台湾に移転され、それがさらに熱帯アジアへと移転されたという、歴史的事実と一致する。また、人口圧力に伴う農家の経営規模の縮小は、大きな制約条件ではないであろう。と言うのは、SSA でも農家規模と収量の間には負の関係があり、家族労働に依存する小規模農家のほうが、農業労働者を雇用する大規模農家より、生産効率が高い傾向があるからである（Larson et al. 2014, 2016）。熱帯アジアでもそうであったように、小規模農業と緑の革命は両立するであろう。

SSA で緑の革命を実現するうえでの最大の問題は、緑の革命が「栽培技術集約的」であることが広く認識されていないことである。アジアの緑の革命初期に、Johnston and Cownie (1969) は、緑の革命を「種子と肥料投入の革命」(seed-fertilizer revolution) と呼んだ。つまりこれは、肥料感応的な近代品種を採用し、それに加えて肥料を増投すれば緑の革命が実現すると主張するものである。世界銀行などは、今でもこうした考え方を取っている。しかしながら、筆者はこの考え方には大いに疑問がある。緑の革命の実現には、近代品種の採用と肥料の投入ばかりでなく、種子の選別、畔の設置、均平化、正条植え、除草など、基本的な栽培技術が合わせて採用されなければならない。このことは、SSA の多くの国で実証されている（deGraft-Johnson et al. 2014; Kijima et al. 2012; Nakano et al. 2018b; Otsuka and Larson 2016; Takahashi et al. 2018）。つまり、栽培技術に関するトレーニングが実施され、そこから学んだ農民はそうでない農民より、積極的に新しい栽培技術を採用し、多くの場合 50% かそれ以上の収量の増加を実現しているのである。しかしながら、SSA の大半の農家は基本的な栽培技術を採用していない。これでは、いくら近代品種を普させ化学肥料の投入を促しても、大きな収量増加にはつながらない。

それではアジアでは、こうした栽培技術はどのようにして採用されたのであろうか。1966 年から IRRI でアシスタントとして 40 年近く勤務した Violy Cordva, IRRI に 1970 年代前半に勤務された金田忠吉神戸大学名誉教授、稲作の歴史に詳しい田中耕司京都大学教授に伺ったところ、正条植えを除いて、アジアの農民は緑の革命前に曲りなりにも基本的な栽培技術を採用していたという。推測だが、厳しい人口圧力のもとで、アジアの稲作農民は自分たちで

きることはすでに行っていたのかもしれない。それに対して SSA では、つい最近まで土地が豊富にあり、集約的な栽培技術の重要性が低かったのではないと思われる。この考え方が妥当であると思ったのは、マダガスカル¹⁶⁾の稲作を視察した時であった。この国では大昔にマレー系の民族が移住し、アジアの人々と同じようにコメを主食にしている。近代品種の採用は遅れ、化学肥料を用いることもないので、収量は当然低い。しかし人口圧力のために、水田は希少である。興味深いことに、他の多くの SSA の国々と異なり、マダガスカルでは畔の設置や水田の均平化等の基本的な栽培技術が採用されているのである。これは、1960年代のアジアに類似しているのではないかと想像される。

Murgai et al. (2001) や Ali and Byerlee (2002) によれば、緑の革命が大成功を収めたインドとパキスタンのパンジャブ地方では、近代品種が普及した1960年代中期から1970年代中期よりも、近代品種の採用率が高止まりした1970年代中期から1980年代中期のほうが、総要素生産性の伸びが高かったという¹⁶⁾。彼らは、その原因の一旦を栽培技術の向上に求めている。

緑の革命の根幹は「集約的な栽培技術体系」であるという認識が薄いことが、効果的な普及システムを構築することの妨げになっている。これについては、コメばかりでなく、トウモロコシについてもあてはまる (Otsuka and Muraoka 2017)。特にコメについては、稲作の技術指導ができる専門的な農業技術普及員を養成し、普及システムを強化すれば、アフリカで緑の革命は起こり得るであろう。稲作生産の望ましい栽培技術体系は既にわかっていることから、普及事業の活発化が何よりも望まれる。

5 む す び

Malthus が予言したように、人口は爆発的に増加しうるが、技術の変化がないもとでは、食糧生産はゆるやかにしか増加しない。特に、耕地の拡大の余地が限られた場合には、食糧生産の増加率は人口増加率を下回るようになる。Boserup (1965) は、そのような状況においては農民の自発的努力によって収量が増大し、食糧不足は回避されると主張した。しかしながら、それはあまりにも楽観的な議論である。日本の戦前期や熱帯アジアの経験は、収量増大のためには、収量増大的な技術の開発と普及が不可欠であることを示している。その点では、Hayami and Ruttan (1985) の誘発的技術・制度改革論のほうが、的を射ている。新品种の開発等の技術革新があつてはじめて、Malthus 的食糧不足は回避されるのである。

おそらく世界的にもまれな人口圧力の下で、日本は戦前から収量増大的な栽培技術を開発し、その潜在力が枯渇すると台湾と朝鮮に技術を移転することで、Malthus 的食糧不足を回避した。その経験が生かされ、日本的な集約的稲作栽培技術が熱帯にアジアに移転され、緑の革命が実現した。それは、人口圧力のもとで食糧不足が危惧されたアジアの状況に適合するものであった。その意味では、Hayami and Ruttan (1985) の誘発理論が妥当する。

しかしながら、現在の SSA で緑の革命が実現していないことは、Hayami and Ruttan (1985) の理論では説明しきれないように思われる。たしかに、SSA でも緑の革命の萌芽はあるが、それが本格的な緑の革命につながる保証はない。SSA において、緑の革命が「集約的な栽培技術体系」であるという事実の認識が不足している現状では、「誘発的な変化」を待つことは得策ではなかろう。

農業技術の有効性は、気候風土に左右されるために、国際間の移転は困難であるという議論がある。しかし、歴史的事実を踏まえるならば、それは常に妥当であるわけではない。稲作技術の国際間の技術移転の成功の歴史を踏まえるならば、SSA で緑の革命が起こりえないということはない。しかも稲作については、局所的ではあるがアジア的栽培技術の採用による多くの成功事例がある。その成功の原因を冷静に分析し、それを点から面へと拡大すれば、SSA でも緑の革命が実現すると思えてならない。

注

- 1) 国際的に不世出の大農業経済学者であられた故速水佑次郎先生は、アジアの緑の革命は基本的には日本から熱帯アジアへの稲作技術の移転であると考えておられた。先生の薫陶を受けた筆者（大塚）は、熱帯アジアからアフリカへの稲作技術の移転を促進しようと努力を続けている。この二人の考え方を融合したのが、本論である。なお、速水先生のお名前をお借りすることについては、速水孝子夫人より許可をいただいた。
- 2) ただし SSA では、4 割近い地域で収量の低い陸稲が栽培されている。他方アジアでは、陸稲はほとんど栽培されていない。
- 3) 図 2 ではコメのヘクタールあたりの収量は、玄米で測られているが、現在の途上国では粳米によって収量が測られている。粳コメは玄米より 20% 程度重いと言われており、その換算率を適用すると明治初期の日本の収量は 2.4 トンとなり、2.2 トン程度である現在の SSA の収量よりやや高い程度であった。
- 4) 以前は熱帯アジアで開発された改良品種は、「高収量品種」と呼ばれていたが、旱魃地帯や深水地帯では高収量ではないので、「近代品種」という用語が用いられるようになっている。
- 5) 温帯に適した日本稲を含む短粒種は、ジャポニカと呼ばれる。他方、熱帯向けのインディカは長粒種である。なお蓬莱米には、日本の品種同士の交配から開発された品種も含まれる。
- 6) 初期の近代品種は病虫害抵抗性が弱かったために、農薬の使用を増加させる等の問題があった。しかしその後、病虫害抵抗性は大幅に強化された。また最近では、旱魃抵抗性、冠水抵抗性などの品種も開発され、近代品種の普及率は増大傾向にある。
- 7) アジアのコメ生産は世界の 90% 以上を占めており、世界全体の生産量の変化はアジアのそれに大きく依存する。
- 8) 1974 年と 2008 年に穀物価格は大きく上昇したが、これは若干の生産減少が引き金となって、異常な投機が行われたためである。
- 9) 最貧困層に属する農業労働者は、労働者として所得の損失を被る一方、消費者として利益を得

たとえられる。

- 10) 穀物は、トウモロコシ、コメ、キビ、モロコシ、小麦の総計である。なお SSA では、イモ類、キャッサバ、食用バナナの消費も多いことにも留意しなければならない。
- 11) 比較対象に、インドではなく熱帯アジアを用いても、結論が変わるわけではない。
- 12) キビやモロコシは、アジアでも緑の革命による収量の増加が達成できていない。
- 13) この主張に統計的な裏付けがあるわけではなく、著者の SSA での観察に基づく推測である。
- 14) コメには、水稻と陸稻が含まれる。陸稻は40%程度の面積を占めているが、NERICA と呼ばれる新品種が適合しているウガンダ等の少数の国を除けば (Kijima et al. 2011), 収量は極めて低い。なお、結論に大きな相違があるわけではないが、中進国である南アフリカは図9と図10から除外してある。
- 15) 下位10カ国の収量は極端に低いが、収穫面積が少ないために、平均値にはほとんど影響していない。
- 16) パンジャブ地方での典型的な作付け体系は、水稻と小麦の組み合わせであり、総要素生産性も両作物の生産性を計測したものである。

引用文献

- Ali, M. and Byerlee, D. (2002). "Productivity Growth and Resource Degradation in Pakistan's Punjab: A Decomposition Analysis." *Economic Development and Cultural Change* 50 (4) : 839-863.
- Balasubramanian, V., Sie, M., Hijmans, R. J., and Otsuka, K. (2007). "Increasing Rice Production in Sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities." *Advancement in Agronomy* 94 (6) : 55-133.
- Barker, R., and Herdt, R. (1985). *The Asian Rice Economy*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Boserup, E. (1965). *The Conditions of Agricultural Growth: The Economics of Agrarian Change under Population Pressure*. London: George Allen and Unwin.
- Dalrymple, D. G. (1986). *Development and Spread of High-yielding Rice Varieties in Developing Countries*. Washington, DC: Agency for International Development.
- David, C. C., and Otsuka, K. (Eds.) (1994). *Modern Rice Technology and Income Distribution in Asia*. Boulder: Lynne Rienner.
- deGraft-Johnson, M., Suzuki, A., Sakurai, T., and Otsuka, K. (2014). "On the Transferability of the Asian Rice Green Revolution to Rainfed Areas in Sub-Saharan Africa: An Assessment of Technology Intervention in Northern Ghana." *Agricultural Economics* 45 (5) : 555-570.
- Estudillo, J. P., and Otsuka, K. (2016). *Moving out of Poverty: An Inquiry into Inclusive Growth in Asia*. London, UK: Routledge.
- Hayami, Y., and Godo, Y. (2005). *Development Economics: From the Poverty to the Wealth of Nations*. New York: Oxford University Press.
- Hayami, Y., and Kikuchi, M. (1978). "Investment Inducements to Public Infrastructure: Irrigation in the Philippines." *Review of Economics and Statistics* 60 (1) : 70-77.
- Hayami, Y., and Ruttan, V. W. (1985). *Agricultural Development: An International Perspective*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Hsieh, S. C., and Ruttan, V. W. (1967). "Environmental, Technological, and Institutional Factors in the

- Growth of Rice Production: Philippines, Thailand, and Taiwan.” *Food Research Institute Studies* 7: 307-341.
- Janaiah, A., Hossain, M., and Otsuka, K. (2005). “Is the Productivity Impact of the Green Revolution in Rice Vanishing?” *Economic and Political Weekly* 40(53): 5596-5600.
- Johnston, B. F., and Cownie, J. (1969). “The Seed-Fertilizer Revolution and Labor Force Absorption.” *American Economic Review* 59(4): 569-582.
- Kijima, Y., Ito, N., and Otsuka, K. (2012). “Assessing the Impact of Training on Lowland Rice Productivity in an African Setting: Evidence from Uganda.” *World Development* 40(8): 1619-1633.
- Kijima, Y., Otsuka, K., and Sserunkuuma, D. (2011). “An Inquiry into Constraints on a Green Revolution in Sub-Saharan Africa: The Case of NERICA Rice in Uganda.” *World Development* 39(1): 77-86.
- Larson, D., Muraoka, R., and Otsuka, K. (2016). “Why African Rural Development Strategies Must Depend on Small Farms?” *Global Food Security* 10: 39-51.
- Larson, D., Otsuka, K., Matsumoto, T., and Kilic, T. (2014). “Should African Rural Development Strategies Depend on Small Farms? An Exploration of the Inverse Productivity Hypothesis.” *Agricultural Economics* 45(3): 355-367.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randes, J., and Behrens, W. W. (1972). *The Limits to Growth*. New York: Universe Books.
- Murgai, R., Ali, M., and Byerlee, D. (2001). “Productivity Growth and Sustainability in Post-Green Revolution Agriculture: The Case of the Indian and Pakistan Punjab.” *World Bank Research Observer* 16(2): 199-218.
- Nakano, Y., and Otsuka, K. (2011). “Determinants of Household Contributions to Collective Irrigation Management: A Case of the Doho Rice Scheme in Uganda.” *Environment and Development Economics* 16(5): 521-551.
- Nakano, Y., Tanaka, Y., and Otsuka, K. (2018a). “Impact of Training on the Intensification of Rice Farming: Evidence from Rain-fed Areas in Tanzania.” *Agricultural Economics* 49(2): 193-202.
- Nakano, Y., Tsusaka, T. W., Aida, T., and Pede, V. O. (2018b). “Is Farmer-to-Farmer Extension Effective? The Impact of Training on Technology Adoption and Rice Farming Productivity in Tanzania.” *World Development* 105: 336-351.
- Njeru, T., Mano, Y., and Otsuka, K. (2016). “Role of Access to Credit in Rice Production in Sub-Saharan Africa: The Case of Mwea Irrigation Scheme in Kenya.” *Journal of African Economies* 25(2): 300-321.
- Otsuka, K. (2013). “Food Insecurity, Income Inequality, and the Changing Comparative Advantage in World Agriculture.” *Agricultural Economics* 44(S1): 7-18.
- Otsuka, K., and Hayami, Y. (1994). “Beyond the Green Revolution: Agricultural Development Strategy into the New Century. In J. Anderson (Eds.), *Agricultural Technology: Policy Issues for the International Community* (pp. 15-42). Wallingford: CAB International.
- Otsuka, K., Kijima, J. P., and Sawada, Y. (Eds.) (2009). *Rural Poverty and Income Dynamics in Asia and Africa*. London, UK: Routledge.
- Otsuka, K., and Larson, D. (Eds.) (2013). *An African Green Revolution: Finding Ways to Boost Productivity on Small Farms*. Dordrecht: Springer.

- Otsuka, K., and Larson, D. (Eds.) (2016). *In pursuit of an African Green Revolution: Views from Rice and Maize Farmers' Fields*. Dordrecht: Springer.
- Otsuka, K., and Muraoka, R. (2017). "A Green Revolution for Sub-Saharan Africa: Past Failures and Future Prospects." *Journal of African Economies* 26(S1): i73-i98.
- Smale, M., Byerlee, D., and Jayne, T. (2013). "Maize Revolution in sub-Saharan Africa." In K. Otsuka and D. Larson (Eds.), *An African Green Revolution: Finding Ways to Boost Productivity on Small Farms* (pp. 165-195). Dordrecht: Springer.
- Takahashi, K., Mano, Y., and Otsuka, K. (2018). "Beyond the SUTVA: The Dynamic Impact of Management Training and Subsequent Information Spillover on Agricultural Performance in Cote d'Ivoire." JICA Research Institute, mimeographed.
- Umemura, M., Yamada, S., Hayami, Y., Takamatsu, M., and Kumazaki, M. (1966). *Estimates of Long-term Statistics of Japan since 1868: Agriculture and Forestry*. Tokyo, Japan: Toyo Keizai Inc.
- Yamano, T., Arouna, A., Labarta, R. A., Huelgas, Z. M., and Mohanty, S. (2016). "Adoption and Impacts of International Rice Research Technologies." *Global Food Security* 8: 1-8.
- Yamano, T., Otsuka, K., and Place, F. (Eds.) (2011). *Emerging Development of Agriculture in East Africa: Markets, Soil, and Innovations*. Amsterdam: Springer.
- 田中耕司 (2012). 「生存基盤持続型発展経路を求めて：アジアの稲作の経験から」, 杉原薫・脇村孝平・藤田幸一・田辺明生 (編)『歴史の中の熱帯生存圏』京都大学出版会, pp. 185-210.
- 田中耕司・今井良一 (2006). 「植民地形態と農業技術：台湾, 南方, 満州」, 田中耕司 (編)『岩波講座「帝国」日本の学知 第7巻 実学としての科学技術』岩波書店, pp. 100-137.