

A.F.F.ボーイズ著『日本における農業とエネルギー —21 世紀の食料事情を考える—』を読む

金沢美術工芸大学 大谷正幸

「古典を読むときには、二段構えのアプローチが必要であることを確認しておきたいと思います。まず第一に、その文章のなかに何が書かれていないかを見つけだすこと、そして第二に、そこに何が書かれているかを見いだすことです。」(岩井克人『資本主義を語る』)

表題のボーイズ論文は、第1部「化石燃料とその他のエネルギー源」及び第2部「21世紀初頭における日本のエネルギーと食料農業事情」とからなる二部構成の論文であり、2000年に茨城キリスト教大学短期大学部研究紀要第40号に発表された。第1部では、「化石燃料時代」が概観されると共に、その驕りがM.K.ハバートの石油生産量予測などを参照しつつ確認される。そして、21世紀におけるエネルギー事情の悪化を所与のこととして、第2部では、日本のエネルギー自給率の低さと化石燃料に依存した近代農業及び食料供給システムが孕んでいる懸念が膨大なデータと共に炙り出される。

この論文発表から14年の歳月が流れ、およそ先達の予想通りにエネルギー供給は頭打ちとなり、エネルギー制約ゆえに経済成長が叶わぬ事態に陥って、あちらこちらで金融危機や政変、はたまたジェノサイド同然の軍事行動が噴出し続けている。この趨勢を卜するならば、日本の食料安全保障が脅かされる事態ももはや杞憂ではなく、その備えを促す思索にボーイズ論文は資するものと思われる。

なお、本稿のグラフ作成には、特に断りのない場合、矢野恒太記念会編『数字で見る日本の100年』(改訂第6版)または日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編『EDMC/エネルギー・経済統計要覧(2014)』のデータを用いた。

第2部「21世紀初頭における日本のエネルギーと食料農業事情」

- ・日本のカロリーベース食料自給率 (p.23)、土地利用の国際比較 (p.24の表2.4、1994年のデータ)

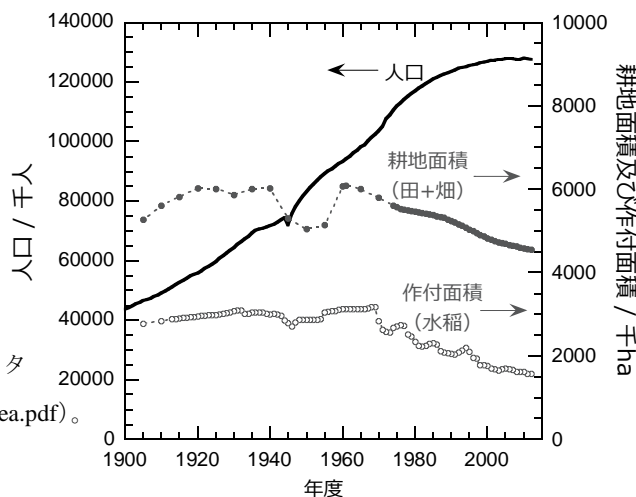
食料自給率：79% (1960年) → 39% (2011年)

	国土面積 (万 ha)	農用地 (万 ha)	人口 (万人)
イギリス	2,416	1,733	6,203
ドイツ	3,493	1,689	8,230
日本	3,765	461	12,653

人口は2010年、農地面積は2009年データ
(http://www.maff.go.jp/j/kokusai/kokusei/kaigai_nogyo/pdf/area.pdf)。

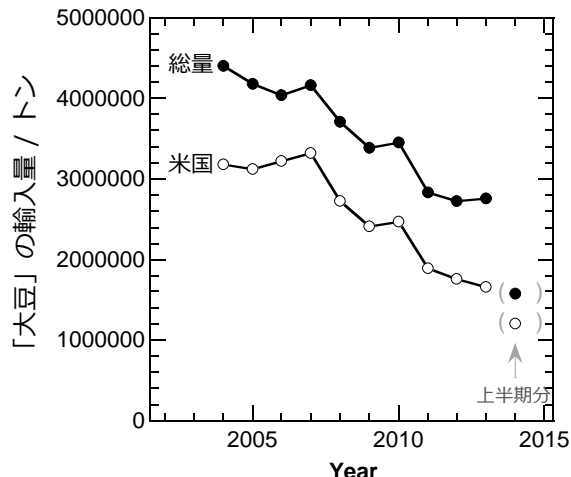
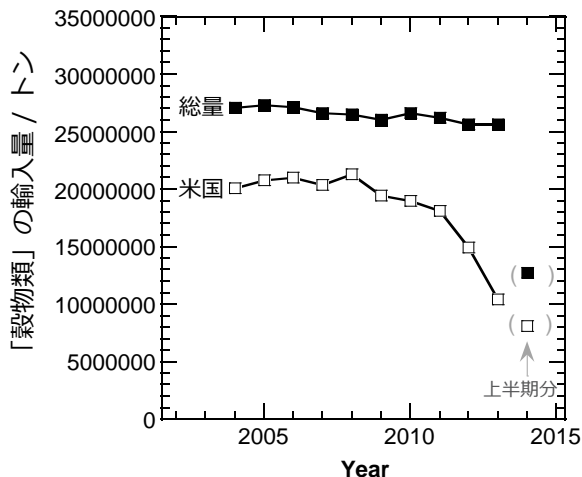
2012年のデータでは、日本の耕地面積は4,549千ha

(田2,469千ha + 畑2,080千ha)



・穀物の貿易量、日本の輸入量に占めるシェア (p.26 の表 2.7、1996-1998 年のデータ)

ボーイズ論文発表時に比べて、近年、米国からの穀物輸入量の減少が顕著であり、財務省・貿易統計 (<http://www.customs.go.jp/toukei/shinbun/happyou.htm>) のデータを用いて、下のグラフを作成した。



(参考) 「ドルの下落は一時的でなく永続すると予想し始めると、ドルのハイパーインフレがはじまります。いままで米国以外の国々の取引のために流通していたドルは、すべて米国製品を買うために米国に殺到します。そうすれば、米国内でもあつという間にハイパーインフレがおこってしまう。米国経済の崩壊です。」
(岩井克人『基軸通貨ドルが退位する日』文藝春秋・新年特別号 2009 より)

・日本の食料貿易金額 (p.30)

1998 年のデータ 輸入総額 36 兆 6,536 億円、食料輸入超過額 5 兆 1506 億円 (14%)

2013 年のデータ 輸入総額 81 兆 2,425 億円、食料輸入超過額 6 兆 2210 億円 (7.6%)

(食料輸入超過額=「食料品」輸入 64,730 億円+「大豆」輸入 1,837 億円-「食料品」輸出 4,357 億円)

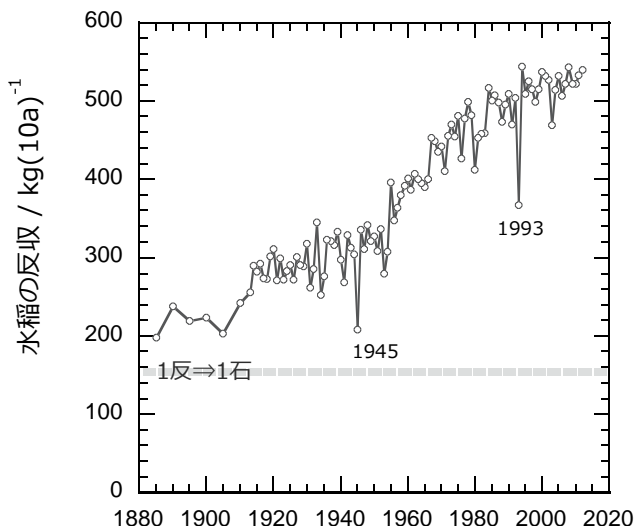
2000 年の輸入総額 40 兆 9384 億円のうち、「食料品」4 兆 9663 億円(12.1%)、「鉱物性燃料」8 兆 3166 億円(20.3%)

2013 年の輸入総額 81 兆 2425 億円のうち、「食料品」6 兆 4730 億円(8.0%)、「鉱物性燃料」27 兆 4438 億円(33.8%)

・日本の米生産 (p.36 の表 2.23)

水稲の反収の推移について、最近のデータを加えて、グラフを作成した。2001~2012 年の収量の平均値は 522kg(10a)⁻¹である。

なお、20 世紀後半における単位作付面積(10a)あたりの収量は、大豆 (p.37 の表 2.24) で 150kg 前後、小麦 (p.39 の表 2.25) で 300kg 前後である。



・2.7.1 農業におけるエネルギー投入 (p.50～)

ここでは、宇田川武俊氏の研究をはじめとして、エネルギーの次元で近代農業の採算性を分析した研究成果が要約されている。宇田川氏の研究については、渡辺正・中村誠一郎著『電子移動の化学 — 電気化学入門』(朝倉書店、以下では「渡辺教科書」と記す)でも取り上げられており、光電気化学の観点から考察されている。教科書的な基本の理解が演繹的思考を促すと思われ、米をエネルギー単位の量に換算する方法を以下に記す。

エネルギーについて考えるための基準として、人間が何ワットの機関かを認識しておくことが肝要。食物の形で1日に2500kcalのエネルギーを摂取しているとすると、 $1\text{cal}=4.18\text{J}$ (ジュール) の関係より、1日あたり10450000Jのエネルギーを使っていることになる。これを1日の秒数86400sで割れば 120.9Js^{-1} すなわち私たち人間のパワーは**121W**(ワット)程度である。

なお、ヒトが24時間活動すれば2902Wh (=10450kJ) すなわち3kWh 弱のエネルギー消費に換算され、これを1日の食費で賄っている。ところで、電力1kWhの価格は20円未満、3kWhの消費電力でも60円未満である。Man vs. Machineの時代について思索されたい。

「太陽エネルギー密度 真上からの太陽光を受ける地面のエネルギー密度はほぼびったり 1kWm^{-2} だが、昼夜・晴雨・季節の平均ではこの数分の1になる。日本で実測された値は $127\sim 162\text{Wm}^{-2}$ で、平均値はおよそ **145Wm^{-2}** と考えてよい。」(渡辺教科書 p.83)

東京山手線の内側面積 63km^2 に太陽エネルギー変換効率10%の太陽電池を敷き詰めるならば、

$$145 \times (63 \times 1000000) \times 0.1 = 942500000 \text{ (W)} = 94 \text{ 万 } 2500 \text{ kW} \quad \text{の出力 (平均) が期待される。}$$

121Wのヒトは手回し式発電機で10W程度の発電が可能。1億2700万人で一斉に発電するときの総出力は、

$$10 \times 127000000 = 1270000000 \text{ (W)} = 127 \text{ 万 kW} \quad \text{となる。}$$

ちなみに、大飯原発の1基分の出力が117万kWである。

「日本の太陽光エネルギー密度は約 145Wm^{-2} で、 1m^2 の地面が1年間に受け取るエネルギーの総量に換算すれば、 **$4.57 \times 10^6 \text{kJm}^{-2}\text{y}^{-1}$** になる。」(渡辺教科書 p.95)

$$\because 145 \times (365 \times 24 \times 60 \times 60) = 4572720000 \text{ (Jm}^{-2}\text{y}^{-1}) = 4572720 \text{ (kJm}^{-2}\text{y}^{-1}) = 4.57 \times 1000000 \text{ (kJm}^{-2}\text{y}^{-1})$$

圃場に降り注ぐ太陽エネルギーを元手に光合成(農業)が営まれているが、光の吸収に関する制約もあって、「有機物の姿をとる光エネルギー変換の効率は3%どまりと予想される。」(渡辺教科書 p.95)

光合成の太陽エネルギー変換効率：光合成産物の代表にグルコース $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ を選べば、光合成の全反応は次式で表される。なお、 ΔG° は化学変化に伴うギブス自由エネルギー変化と呼ばれ、その値が負ならば自発的に反応が進行し、正の値ならば反応の進行に外部からのエネルギー投入を要することを意味する。



$$\Delta G^\circ = +2880 \text{ kJmol}^{-1}$$

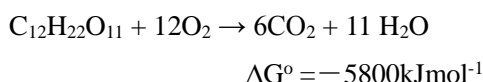
グルコース1分子の生成は48個の光子を取り込んで24電子が動く反応であり、1molのグルコース(≒180gの炭水化物)の生成には外から2880kJのエネルギー投入を要する。1molのグルコースの生成に要する光子

の数を 690nm の波長の光子で賄うとすると (アインシュタインの式 $E=h\nu=hc/\lambda$ より光のエネルギーは光速 c を波長 λ で割ってプランク定数 h を掛けて求まり、さらに反応に関与する光子の個数 $48 \times 6.02 \times 10^{23}$ を掛ける)、そのエネルギーは 8319kJ と算出され、エネルギー変換効率は $2880 \div 8319 = 0.35(35\%)$ となる。さらに太陽光のうち光合成に使えない波長の長い成分や波長が短いため光合成に要するエネルギーとしては十分すぎて無駄になるエネルギーを省くならば、地上に届く太陽光のうち 24%ほどが光合成に用いられる勘定になる。したがって、24%に 0.35 をかけて 8%、光合成はこの太陽エネルギー変換効率を超えないが、さらに植物自体の代謝を考えると、「有機物の姿をとる光エネルギー変換の効率は 3%どまり」となる。

21 世紀日本の稲作の反収 $522\text{kg}(10\text{a})^{-1}$ は、茎・葉の重量を可食部と同じと仮定して、また、稲作を 5 ヶ月の営みとして算出すると、光エネルギー変換の効率として 0.7%程度と見積もられる。参考までに、熱帯のサンゴ礁で $10\text{kgm}^{-2}\text{y}^{-1}$ のバイオマス生産を観測したという報告もあるらしく、太陽光の平均密度を 300Wm^{-2} として太陽エネルギー変換効率は 1.7%。

薪よりも既に稼動している太陽電池の方が太陽エネルギーの利用効率は良いが、経済縮小で初期投資の回収ができなくなる問題が生じるだろう。また、太陽電池の効率改善はエネルギー単価として安価な農作物の生産に影響を与え得る。

米をエネルギーに換算するための考え方：呼吸をショ糖の燃焼で代表させると、次式で表すことができ、この燃焼で放たれるエネルギーが私たちの活力になると考えられる。

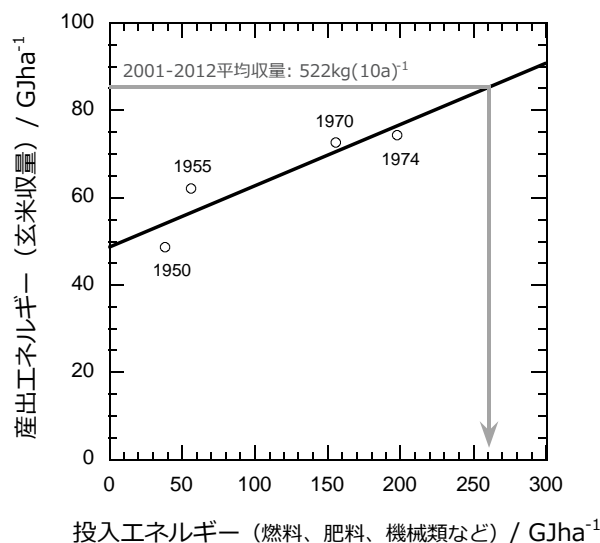


上の化学反応式は、炭水化物 342 グラムの燃焼が 5800kJ のエネルギーを解放することを表し、**炭水化物 1kg は 16959kJ のエネルギー源**となることを意味している。宇田川武俊氏の計算した「産出エネルギー」(ボーイズ論文 p.50 の表 2.39) はこの値を用いて算出され、米の水分 (ca.15%) は考慮していないと推察される。たとえば、米の収量が 5000kg ha^{-1} ならば、産出エネルギーは次のように換算される。

$$5000 \times 16959000 = 84795000000(\text{J ha}^{-1}) = 84.8 \times 10^9 = 84.8(\text{GJ ha}^{-1}) \quad \text{註: GJ(ギガ・ジュール)} = 10 \text{ 億ジュール}$$

また、上の化学反応式より、一人が日々摂取するエネルギー $2500\text{kcal}(10450\text{kJ})$ は 616g の炭水化物 (乾燥重量) に相当し、1 年では一人当たり 225kg ほどの食物を要すると考えられる。米ばかり食っているわけにはいかないが、現在の稲作の反収 ($522\text{kg}10\text{a}^{-1}$) ならば、計算上 1 反当たり 2.3 人を養い得る。1920 年代の稲作の反収 ($288\text{kg}10\text{a}^{-1}$) ならば、1 反当たり 1.3 人を養い得る。このような計算は、ボーイズ論文 p.69 の「2.8.5 人口の適正水準」を読む際にも有用である。

産出エネルギーの計算は上の通りに単純だが、「投入エネルギーの「正確な」計算は大変困難であり、大まかな数値を提示することで精一杯」(p.52)。



・2.7.2 エネルギーと化学肥料 (p.55～)

N: アンモニア 1kg あたり 26MJ を要し、世界の天然ガス総消費量の約 5% (2009 年データ) がアンモニア生産に向けられる。

K: 塩化カリウムの採掘には 1kg あたり 4～5MJ のエネルギーを要する。

P: リン鉱石の採掘および合成プロセスで 1kg あたり数十 MJ のエネルギーを要する。リン鉱石の枯渇も危惧される。

参考までに、ハクスリー『すばらしい新世界』(1932) には、火葬場でリンを再生する話が出てくる。「・・・むかしはだれかを火葬するたびに燐酸が空気中から逃げてしまったのだ。ところが今じゃ九十八パーセント以上回収できるのだ・・・ヘンリーは、まるで自分の手柄のようにこの成果を心から喜びながら、得意そうに話した。「われわれが死んで後までも、なおこうして、世の中の役に立てるといのはすばらしいことだ。植物の生長を助けるんだからな」」(同書第 5 章)

・2.7.3 農薬 (p.55～)

農薬(殺虫剤、除草剤、殺鼠剤、植物成長調整剤等)の製造から販売までに、1kg あたり 200～300MJ(註: 1MJ=1000000J)のエネルギーを要する。なお、農薬の生産量は 1995 年の 46 万トンから減少し続けて 2009 年には 26 万トンになっている。http://www.maff.go.jp/j/nouyaku/n_info/pdf/shukka.pdf

・2.7.4 収穫後から食卓に上るまでのエネルギー消費 (p.59～)

後にボーイズ氏は Post Carbon Institute 編“*The Food and Farming Transition: Toward a Post-Carbon Food System*”(2009)のデータを用いて、日本の農業及び食料供給システムにおけるエネルギー消費の構成割合を推定している。また、「先進国では、1 カロリーを口に入れるために 10 カロリー程度の化石資源を消費している」(A.F.F.ボーイズ『石油ピーク後の食糧事情』、もったいない学会 WEB 学会誌 vol3(2010)26.) と言及している。

1 エネルギー単位の食料に 10 エネルギー単位の化石燃料が費やされているという話の出所はおそらく、欧州議会議員の Caroline Lucas らの報告(“*Fuelling a Food Crisis: The impact of peak oil on food security*”, 2006, <http://www.carolinelucasmep.org.uk/wp-content/uploads/file/Fuelling%20a%20food%20crisis.pdf>) によると思われる。

“Much of our food system is staggeringly inefficient: overall – including energy costs for farm machinery, transportation, processing and feedstocks for agricultural chemicals – the modern food system consumes roughly ten calories of fossil-fuel energy for every calorie of food energy produced.⁶ Processing is particularly energy-dependent. Next time you reach for a typical 450 gram box of breakfast cereal, for example, you might pause to consider that it could have required over 7000 kilocalories of energy for processing, while the cereal itself provides only 1,100 kilocalories of food energy.⁷ ”

上記の引用文献の記述：

6. *Grazing Lands: RCA Issue Brief #6*, US department of Agriculture, National Resources Conservations Service,

November 1995. http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/technical/nra/?&cid=nrcs143_014209

“...On properly managed grazing land--including pasture-land and hayland--only 1 calorie of fossil-fuel energy is needed to produce up to 2 calories of food and fiber energy. Many crops require from 5 to 10 calories of fossil-fuel energy for every calorie of food or fiber produced....”

7. Danielle Murrays, Rising oil prices will impact food supplies, 13 September 2005.

<http://peakoil.blogspot.jp/2005/09/rising-oil-prices-will-impact-food.html>

「食料の生産がこの（食糧供給システムのエネルギー利用の）5分の1を説明する。残りの5分の4は、農場を離れた後の食料の輸送、パッケージ、販売、貯蔵で使われている。世界では、農業に（直接）使われるエネルギーの28%ほどが肥料の製造、7%が灌漑、34パーセントが植え付けや収穫に用いる農機具の軽油やガソリンとして消費される。残りは農薬、穀物の乾燥、設備の運転だ。」

第1部「化石燃料とその他のエネルギー源」

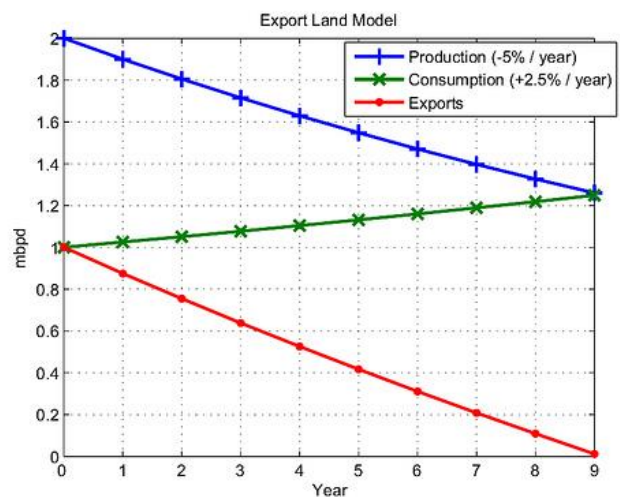
石油生産のピーク予想については、M.K.ハバートの予測以来、研究成果が蓄積され、その予想は概ね成就した。近年は、エネルギー供給量の減少に伴う社会・経済の挙動に関する論考が話題の中心となっている。ボーイズ氏も2010年1月の持続可能な生活を考える会（任意団体）主催の勉強会「石油が高騰する前にすべきことは？食糧危機対策」では、「エネルギー・食糧危機はいつ来るか？」「いつ頃問題になるか？」という観点から、The Export Land Model という最近の知見を紹介している。
(<http://homepage3.nifty.com/sustena-life/100123APOfood.pdf>)

・ Export Land Model (2007)

産油国の石油生産量は減少するが、産油国内での石油消費は成長し続けるために、石油生産の減少ペース以上に石油輸出の減少ペースが著しくなるという説。

(出典元：Jeffrey Brown, “Declining net oil exports--a temporary decline or a long term trend?”

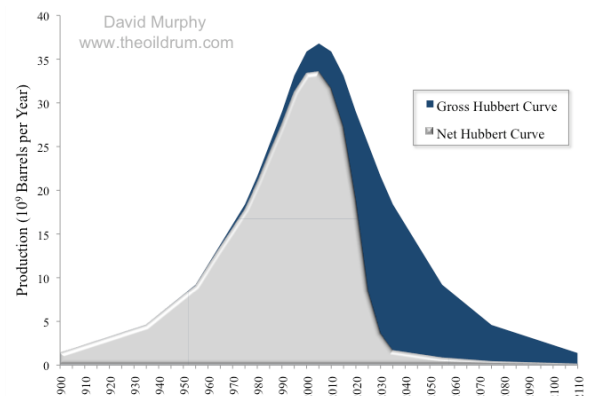
<http://www.theoil Drum.com/node/3018>)



・ Net Hubbert Curve (2009)

EROI(Energy Return on Energy Investment)の低下により、エネルギー開発に費やされるエネルギーが増えて、市場に出回る石油の減少ペースは石油生産に関する対称なベル型曲線の予想よりも速い。

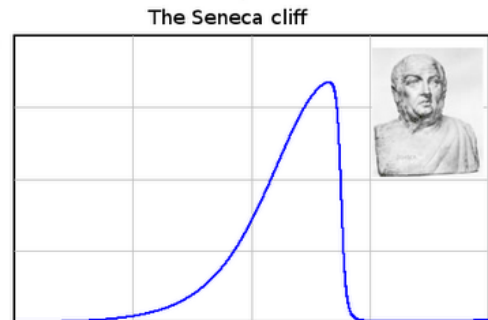
(出典元：David Murphy “The Net Hubbert Curve: What Does It Mean?” <http://netenergy.theoil Drum.com/node/5500>)



・セネカ効果 (2011)

経済ないし文明の成長局面よりも下降(衰退)局面が急峻になる現象はフィレンツェ大学の Ugo Bardi 教授によって「セネカ効果」と命名された。上述の D.Murphy の Net Hubbert Curve の考え方は埋蔵量がゼロになるまで採掘され得る数学モデルだが、Bardi 教授の数学モデルでは「汚染」の効果がフィードバックして生産が抑えられる。この考え方の邦訳と簡単な解説は次のサイトで得られる。

http://www.shiftm.jp/show_blog_item/253



・ Marco Lagi et al., “The Food Crises and Political Instability in North Africa and the Middle East”(2011)

<http://arxiv.org/pdf/1108.2455v1.pdf>

食糧価格指数の変動と抗議活動・暴動等の発生件数の関係を論じた論文で、近年、しばしば引用されている。

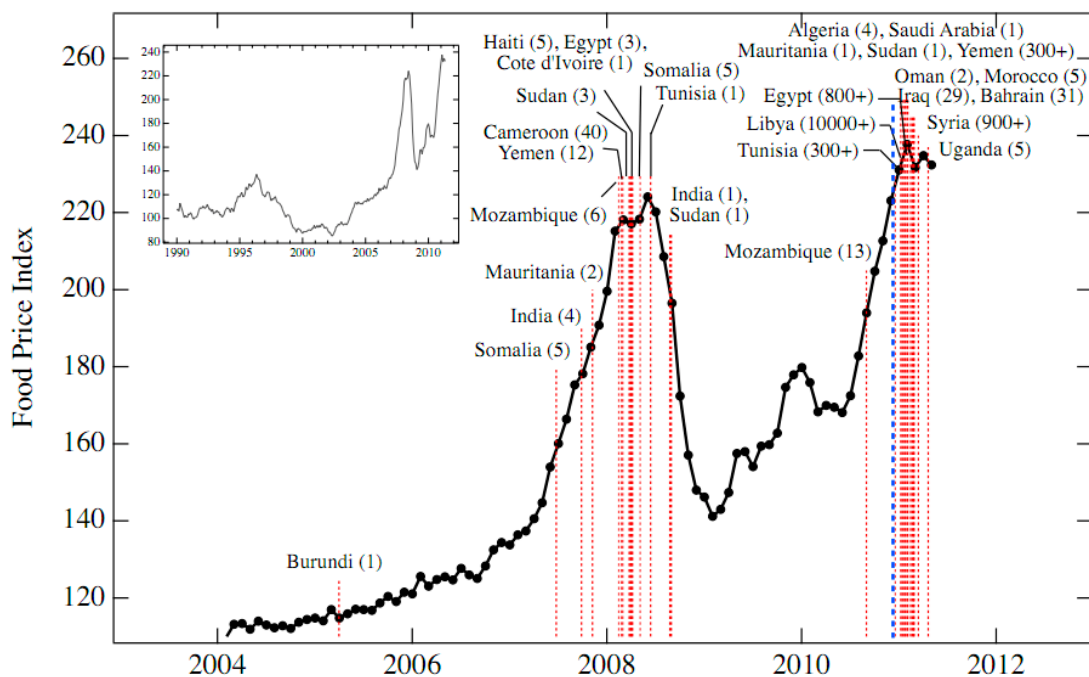


FIG. 1: Time dependence of FAO Food Price Index from January 2004 to May 2011. Red dashed vertical lines correspond to beginning dates of “food riots” and protests associated with the major recent unrest in North Africa and the Middle East. The overall death toll is reported in parentheses [26–55]. Blue vertical line indicates the date, December 13, 2010, on which we submitted a report to the U.S. government, warning of the link between food prices, social unrest and political instability [56]. Inset shows FAO Food Price Index from 1990 to 2011.

・ David Korowicz "Trade-Off :Financial System Supply-Chain Cross-Contagion: a study in global systemic collapse."(2012) (<http://www.feasta.org/wp-content/uploads/2012/06/Trade-Off1.pdf>)

利用可能なエネルギーの減少に伴う経済の縮小は、金融システムを蝕み、貿易金融におけるリスク回避は貿易構造を壊し、グローバル化した物資のサプライチェーンの機能不全、以て社会インフラの機能不全を招来する、という未来予測が理路整然と述べられている。

この論文の日本語解説記事は、http://www.shiftm.jp/show_blog_item/163 で得られる。

・ アダム・ファーガソン『ハイパーインフレの悪夢』(2011年邦訳発売)

この原著 “When Money Dies: The Nightmare of the Weimar Hyper-Inflation”(1975) について、2010年7月25日付け Telegraph 紙の “The Death of Paper Money” と題する記事は、 “As they prepare for holiday reading in Tuscany, City bankers are buying up rare copies of an obscure book on the mechanics of Weimar inflation published in 1974.” と報じた。以下に食料問題の思索を促すと思われる抜粋を記す。

「民間の店はすでにお金を受け取ってくれなくなった。現物との交換でないと、貴重な商品を買ってこない。私の知っているお医者さんの奥さんは、この前、小麦粉1袋のために立派なピアノを差し出した。わたしも夫の金の腕時計を小麦粉4袋に換えてもらった。」(A.ファーガソン『ハイパーインフレの悪夢』 p.49)

「ドイツで幾らかでも快適な暮らしをしているのは、農村の人間だけだった。農民はほかの国民に比べ、実質的な価値のあるものを手に入れやすかった。農民たちが以前の生活水準を保てる程度に農産物の販売から利益を得ようとするだけでも、都市部の人間からは暴利をむさぼっていると批判された。」(ibid., p.143)

「ヘッセンのある教授は、教授や教師にはもはや生きる権利が与えられていない、きっとおおぜいが冬に餓えや寒さで命を落とすだろうと嘆いた。…熟練労働や半熟練労働などの肉体労働が、ドイツではすでに支配的になってきている。頭脳への需要はない。つまり、頭脳にはもはや市場価値がないということだ。」(ibid., p.145-146)

「ハイパーインフレの最中には、家族の銀器よりも1キロのじゃがいものほうが、グランドピアノより豚の脇腹肉のほうが一部の人にとっては価値があった。家族のなかに売春婦がいるほうが、赤ん坊のなきがらがあるよりもよかった。餓死するより盗むほうがましだった。名誉より暖房のほうが心地よく、民主主義より衣類のほうが不可欠で、自由よりも食べ物のほうが必要とされていたのだ。」(ibid., p.308)

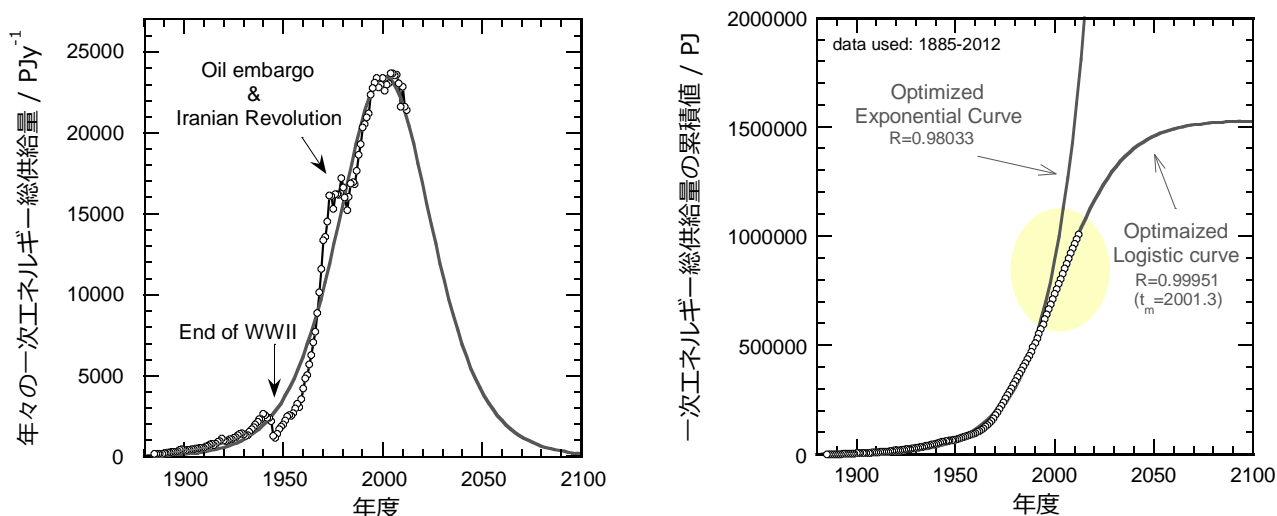
参考までに、食いの恨みは恐ろしく、太平洋戦争中の食糧事情の記録として、次のようなものがある。

「農民への反感は、疎開児童にかぎらなかつた。戦中から敗戦後にかけて、なけなしの家財や衣類をたずさえて農村に食料買い出しに出かけた都市住民たちは、自分たちの家財を二束三文に買いたたく農民に反感をもった。敗戦直後の新聞報道によると、「買出群は何れも官僚と農家を極端に怨み、餓死するときには大臣の玄関か農家の軒下で死ぬのだと口を揃えて言っている」という状態だった。」(小熊英二『<民主>と<愛国>』 p.43)

むすび

「ではどうしてこの急場を切り抜けるかと質問されても、前申した通り私には名案も何もない。ただ出来るだけ神経衰弱に罹らない程度において、内発的に変化して行くが好かろうというような体裁の好いことを言うより外に仕方がない。」(夏目漱石『現代日本の開化』)

日本の近現代の有り様を物理的に裏付けてきた一次エネルギー総供給量の推移は下の通りである。その累積値はすでに指数関数的成長というよりもロジスティック曲線のな収穫逡減の軌道をたどっているように思われる。縮小社会への道を切り開くべき時勢であることは言を俟たない。



だが、農業問題の悪化を放置してきた政府に、今更、打開策を期待するのはナイーブではないか。イリイチ『コンヴィヴィアリティのための道具』によれば、「今日の産業主義的幻想の崩壊こそ効果的で自立共生的（コンヴィヴィアル）な生産様式を選び取るための必要条件であることを論証できる人々」を「用意することこそ、現時点での新しい政治の中心課題」であり、また、そういう人々の務めは以下の通りである。

「破局的な出来ごとについての論理的一貫性のある分析を提供し、さらにその分析をふつうの言葉で人々に伝える用意ができていなければならぬ」

「限界を課された社会で必要とされる事柄を、誰の心にも訴える実際的な言葉で提示する」

「たえがたくなってしまう事柄から解放されるには、避けがたい代償として犠牲をはらわねばならないということが、明示されねばならない」

豊田菜穂子著『ダーチャで過ごす緑の週末』には「ソ連崩壊」という終末的状况を前にして、人々の心に希望の灯りをともした「ダーチャ」と記されているが、ソ連の御粗末な農政が家庭菜園の伝統を根付かせて、皮肉にも崩壊時の混乱を生き延びる上で奏功したという話は教訓である。

e.g., “To survive people resorted to subsistence farming. Everybody had a "dacha" - a small plot of land,・・・”

(Legal Alien, “Survival in Times of Uncertainty: Growing Up in Russia in the 1990s”(2008)

<http://www.sott.net/article/147683-Survival-in-Times-of-Uncertainty-Growing-Up-in-Russia-in-the-1990s>)