



Title	小麦品種改良に関する技術進歩と遺伝資源導入の役割：誘発的技術進歩への距離関数による接近
Author(s)	藤井, 陽子
Citation	北海道農業経済研究, 14(1), 27-37
Issue Date	2007-09-28
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/63651
Type	article
File Information	KJ00006717947.pdf



[Instructions for use](#)

小麦品種改良に関する技術進歩と遺伝資源導入の役割 －誘発的技術進歩への距離関数による接近－

藤井陽子

I はじめに

「新たな麦政策大綱」(折原[19])によって品質取引が導入された小麦は、産地や品種による価格差が拡大している。小麦は用途が多岐に渡り、用途ごとに求められる質も異なる。さらに、実需者が寡占であることから品質向上に対する要求も強い。したがって、農家は今まで以上に需要に応じた小麦を生産することが求められ、品種が品質を決定するという小麦の生物学的特性上、品種改良に対する期待も高まっている。

小麦品種改良における高品質化の試みは1932年(昭和7年)の小麦増殖5ヶ年計画まで遡るが、その後、品質に関する研究は大戦前後の増産体制のなかで消滅した。1980年代に入り小麦の作付けが拡大すると同時に、実需者から品質改善を求められ、1990年代には製めん適性向上のための高蛋白化が開始され、パン用としても注目され始めている。

ところで品種改良をはじめとする研究開発は、経済学的には技術知識の生産過程として位置づけられ、特に品種改良は、施肥法の開発など生産現場に直接応用される技術知識とは異なり、種子に一旦体现され農業生産に貢献する。こうした種子生産の段階を対象とすることで、従来は単収増加や生産費低下など、生産現場における量的成果か

ら把握されていた品種改良の成果を、質的成果も含めて明らかにすることが可能となる。

そこで本稿の第1の目的として、種子生産を収量性と高品質化の複数財生産過程と捉え、品質の成果として蛋白質含有率^{註1)}を含め、育種機関の研究方向を明らかにする。高品質な小麦が求められる中で、育種成果の方向性を明らかにすることは、育種機関における研究資源の効率的な配分という点からも重要な課題である。

以上の課題に加え、遺伝資源導入の役割について明らかにすることを本稿第2の課題とする。育種学の成果をみると、特にパン用品種で蛋白質の量と質が重要であることが明らかにされ、量的改良には、①遺伝的要素および②栽培環境の2つが、質的改良については完全なる遺伝子支配である(安室[25])ことが分かっており、適切な遺伝資源の導入が重要となる。中村([17], p. 479)も「狭隘になり過ぎている日本コムギ品種の遺伝的基盤を拡大する必要がある」とするなど遺伝資源を広範に探索・導入することの重要性を指摘している。

遺伝資源については、育種者権の保護が研究開発投資の促進につながることから、所有権が強化(Srinivasan[22]^{註2)}される一方で、遺伝資源アクセスの確保および交換の重要性が示される(Rubenstein and Smale[20]^{註3)}など、議論が

続いている。

以上を踏まえ、小麦品種改良における遺伝資源導入の果たす役割について明らかにしていく。既存の研究では、遺伝資源の重要性をその利用状況から明らかにしたものが多いが (Rubenstein ら [20])、本稿では、遺伝資源導入の役割を品種改良における技術進歩から分析していく。

遺伝資源の具体的な貢献、すなわち生産可能曲線をシフトさせる要因として Evenson[6] は①探索範囲の狭隘化 (Search Field Narrowing)、②遺伝資源導入 (Recharge)、の2つをあげている。前者は、未知の探索範囲の中から有望でない系統を順次排除する過程であり、後者は、新たな遺伝資源を導入することである。

本論文の構成は以下のとおりである。まず品種改良の分析枠組みを提示し、次に具体的な分析モデルとして距離関数を特定する。推計結果をもちいて技術進歩および遺伝資源導入の役割について考察し、最後に結論とする。

註1) 小麦の用途はおもに蛋白質含有率によって決まるが、同じ用途でも、めん用普通小麦では含有率が高まることで粘弾性がまし、製めん適性が向上する。パン用硬質小麦では、製パン時の操作性といった加工適性が向上するとともに、食感など品質面の優劣を左右する。

註2) 農業者や研究者の免除規定のない、より強い知的所有権 (特許) へと進む傾向があることを示している。

註3) ジーンバンクデータを利用し、野生種がいまだに育種者の興味対象であること、遺伝資源は各国が相互に依存していることを明らかにしている。

II 分析の枠組みと分析モデル

1. 品種改良の技術進歩と遺伝資源

実需者の要求や品質取引の導入により育種目標は、多収性から品質重視へと変わった。そこで本稿では、品種改良におけるこうした与件変化のおよぼす影響を、Binswanger ([2], pp.108-109) の誘発的技術進歩の枠組みによって分析する。

Binswanger[2] および Evenson[6] をもとに、図1に品質 (蛋白質 P) と収量 (Y) の生産可能曲線を示した^{註1)}。Tは生産可能曲線を、Pの傾きは相対価格を示す。与件変化前の生産可能曲線を T_0 とすれば、価格比 P_0 との接点 a において収量重視の品種改良が進められる。与件変化が生じ蛋白質の価格が相対的に上昇した場合、短期においては新たな価格比 P_1 と既存の生産可能曲線 T_0 との接点 b において高品質小麦を育成する。

その後、技術進歩および遺伝資源導入によって生産可能曲線がシフトする。そのとき、(1) 収量に偏って拡大する収量重視型 (Y -favoring, 図中 T_Y) と、(2) 蛋白質に偏る品質重視型 (P -favoring, 図中 T_P)、の二つの方向が考えられる。

価格比 P_1 の下、両者の生産可能曲線の変化率が等しければ、両者の収入はそれぞれ、(1) の場合が P_1^Y 、(2) の場合が P_1^P となる。 $P_1^Y < P_1^P$ であるから、相対的に価格の高まる特性、すなわち P に偏って生産可能曲線がシフトする方が、そうでない場合に比べて収入の増加率は高くなる (Binswanger[2])。したがって、育種機関が与件変化に対応すれば、品質取引の導入は、技術進歩をより品質重視的な技術進歩へと変化 (偏向) させるであろう。これは研究資源の効率的な配分を達成するとともに、農家や実需者の求める品種を提供し選択の幅を拡大することにつながる。

以上の分析枠組みを踏まえ、また政策変化を与件とした上で本稿では、生産可能曲線が技術、具

体的には遺伝資源や知識の蓄積、によってどのように変化するのかについて、技術進歩の偏向性によって明らかにしていく。

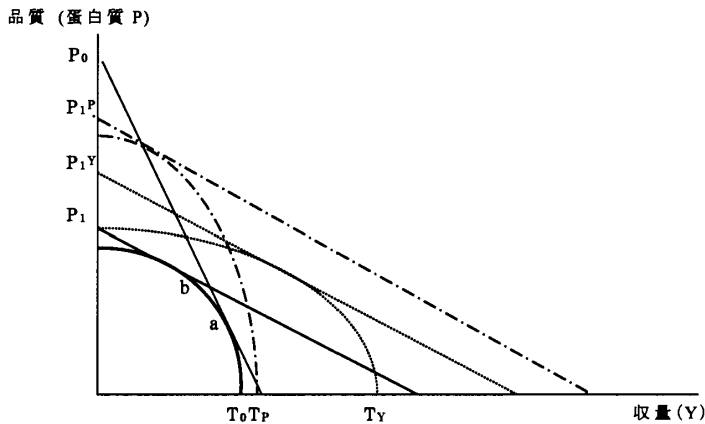


図1 品種改良の技術進歩

2. 複数財生産 (multi-output) と距離関数

品種改良に関する分析は、肥料反応関数(崎浦 [21], Traxler and Byerlee [23], 藤井・長南 [10]) をもちいたものがほとんどであったが、これは各特性を独立に扱うため特性間の相互関係を考慮できない。収量と蛋白質含有量は負の相関をもち、収量と稈長についても、短稈化は現在では限界に達しているとされるものの(野中 [18])、一般に密接な関係をもつ。よって、品種改良の生産可能曲線を定義するにあたり、複数財(特性)生産および各特性の相互作用を考慮できる分析枠組みとし、変形曲線を以下のとおり定義する。

$$G(L, Y, P, SY, t, N, D_i, \text{gene}, B) = 0$$

L, Y, P はそれぞれ研究成果(産出)で、稈長 L (cm)、収量 Y (kg/a)、蛋白質含有率 P (%) である。 SY は従事した研究員の延べ人数で研究資源(投入)である。さらに生産可能曲線のシフトを可能にする要因として、技術 (t)、具体的には農林番号を導入する。

農林登録が進むことは、遺伝資源ストックが拡充し利用可能な育種材料が蓄積されることを意味し、生産可能曲線のシフトにつながる。さらにい

えば、未知の遺伝資源が順次既知となる過程であり、探索範囲を限定していく作業であるから、前述した探索範囲の狭隘化に該当する。

以上の品種改良過程に関する変数に加え、データが実験データであるという点を考慮し、制御変数として、肥料(窒素)投入 (N)、および耕種方法のうち影響があると考えられる分施肥^{註2)}の有無をダミー変数 (B) として入れる。また、小麦品種および地域性を考慮し、ダミー変数 (D_i) で区別する。北海道の秋播き(おもにめん用普通小麦)と春播き(おもにパン用硬質小麦)、府県のめん用普通小麦とパン用硬質小麦の4つである。最後に、遺伝資源域外導入率 (gene) を加えることで、新たな遺伝資源導入の効果についてみていく。導入率の作成方法は後述する。

3. 産出距離関数による接近

具体的な分析モデルとして、複数財の生産過程を考慮できるモデルが必要となる。最も一般的な方法としては費用関数による接近があげられ、研究開発機関への応用として、大学の生産過程を対象とした Cohn, Rhine, and Santos [5] などがある。大学を特許、論文、博士号の複数財生産過程と捉えて分析している。また Kuroda [16] も同様に、日本の農業生産を畜産部門と耕種部門の複数財生産と捉えて分析し、産出における技術進歩の偏向性 (output bias) についても導出できることを示している。しかしながら、本稿で対象とする品種改良では、費用関数の特定に必要な投入要素の価格および総費用に関するデータがなく、費用関数による接近はできない。

価格データを必要としない生産関数による接近としては、特許や論文数を生産物とする知識生産過程を分析したものがある (Jaffe [15])。これらは複数財生産を考慮することができないが、各財について生産関数(または肥料反応関数)を特定し、推計値をつかって生産可能曲線を導く方法は

ある (Traxler and Byerlee[23], Xia and Buccola[24])。しかしながら、生産可能曲線の傾きやそのシフト (偏向性) まで明らかにすることはできない。このように、研究開発過程を対象とした場合、価格データがないことから費用関数を、複数財生産を考慮することの難しさから生産関数を、利用す

ることができず、前節で示した誘発的技術進歩の枠組みで分析するには不十分である。

そこで、本稿では距離関数を採用し、課題に接近することとしたい。距離関数は生産可能曲線の内側にある企業を曲線上の効率的な企業と相対化することで技術効率性を分析するなど、効率性分析にもちいられることが多い (Coelli and Perelman[4])。ただしこうした効率性分析のほかにも距離関数は、関数型を特定 (おもにトランスログ型) しパラメータを推計することで、生産可能曲線の傾きを導出することができ、生産技術の分析にも利用可能である。推計方法としては線形計画法 (LP) や最小 2 乗法 (Corrected OLS, Restricted OLS)、最尤法による Stochastic Frontier Analysis (SFA) がある。汚染物質のシャドウプライスを導出しその機会費用を計測するなど、通常財と汚染物質の複数財生産などにも応用されている (Färe, Grosskopf, and Yaisawarng[7])。また、TFP の要因分解にも応用 (Brümmer, Glauben, and Thijssen [3]) されるなど、距離関数の生産性分析における応用範囲は広い。距離関数のおもな応用例を表 1 に示した。

以上を踏まえ、本稿の課題である「生産可能曲線を定義し、さらにそのシフトする方向を分析する」ためには距離関数を定義し、関数型を特定するパラメトリックな方法によって技術進歩率およびその偏向性を導出する。

表 1 距離関数のおもな既存研究

	著者	推計する値	距離関数	推計方法	研究目的
(1) 効率性	Coelli T., and S. Perelman [4]	技術効率性	産出・投入距離関数	線形計画法, DEA, 最小 2 乗法 (Corrected OLS)	ヨーロッパにおける鉄道会社の効率性分析, 3つの推計方法を比較
	Irz X., and C. Thiriez [14]	技術進歩率, 効率性, TFP	投入距離関数	SFA(truncated N)	ボツワナ農業におけるTFPの分解
(2) 潜在価格の推計	Brümmer B., T. Glauben, and G. Thijssen [3]	TFP, 要因分解	産出距離関数	SFA(truncated N)	ヨーロッパ各国における酪農生産の分析
	Färe, R., S. Grosskopf, and S. Yaisawarng [7]	汚染物質を含む生産物の機会費用(費用)	産出距離関数	線形計画法	製紙工場を対象に硫黄酸化物(SOX)を含む汚染物質(産出)の機会費用を示す。
(3) 潜在価格の推計	Grosskopf, S., D. Margaritis, and V. Valdmanis [13]	病院サービスの機会費用, 代替の弾力性	産出距離関数	線形計画法	病院サービスの代替可能性について, 潜在価格比, 代替の弾力性から分析。
	Aiken, D. V. [1]	リサイクル資源の機会費用(費用)	産出距離関数	最小 2 乗法	世帯が排出する「ゴミ」のリサイクル資源の代替可能性と潜在価格の推計。
	Grosskopf, S., K. Hayes, and J. Hirschberg [12]	警察官の機会費用, 代替の弾力性	投入距離関数	最小 2 乗法 (restricted OLS)	警察組織における人員の代替可能性について

4. 距離関数と技術進歩率の導出

ここでは産出距離関数を定義し、潜在価格 (シャドウプライス)、技術進歩率、技術進歩の偏向性を導出する。産出距離関数は以下のとおり定義される (Färe and Primont[8], pp. 7-18)。

$$D_0(x, y) = \inf \{ \theta > 0 : (y/\theta) \in P(x) \}$$

D_0 = 産出距離関数、 x = 投入量、 y = 産出量、 $P(x)$ は生産可能領域を示す。 y は投入量 x で生産でき、放射線上の y/θ ($0 < \theta < 1$) も生産可能領域 $P(x)$ に含まれる。よって $D_0(x, y) = \theta < 1$ である。

産出距離関数 D_0 と収入関数 R の双対関係から (Färe and Primont[8], pp. 43-54)、

$$R(x, r) = \max \{ ry : D_0(x, y) \leq 1 \}, r \in \mathfrak{R}_+^M$$

$$D_0(x, y) = \sup \{ ry : R(x, r) \leq 1 \}, y \in \mathfrak{R}_+^M$$

産出 m の潜在価格 r_m は、以下のとおり収入 R で除した値となる (Färe and Primont[8], pp. 54-59)。

$$\frac{\partial D_0(x, y)}{\partial y_m} = \frac{r_m}{R(x, r)}$$

ただし、総収入 R は未知の産出価格 r の関数であるため得られない。よって、価格比として示せば、

$$\frac{r_m}{r_{m'}} = \frac{\partial D_0(x, y) / \partial y_m}{\partial D_0(x, y) / \partial y_{m'}}, m \neq m' \quad (1)$$

となる。産出 y_m の潜在価格比は $y_{m'}$ によって示される機会費用であり、限界代替率、すなわち生産可能曲線の傾きを示す。技術 t を含めた上で、これを弾力性で示せば (以下 Irz and Thirtle[14])

を参照)、

$$\varepsilon_{D_0, y_m} = \frac{\partial \ln D_0}{\partial \ln y_m} = \frac{r_m \cdot y_m}{R(r, x, t)} = S_m \quad (2)$$

となり、総収入 R に占める産出 y_m の収入シェア S_m となる。また、技術 t についても同様に示せば、その弾力性は技術進歩率となる。

$$\varepsilon_{D_0, t} = \frac{\partial \ln D_0(x, y, t)}{\partial t} = - \frac{\partial \ln R(r, x, t)}{\partial t} \quad (3)$$

すなわち (2) 式における産出距離関数 D_0 の技術 t に対する一次微分 (3) は、生産可能曲線のシフトを示し、負の値は技術の進歩を、正の値は技術の後退を表す。

(2) のシェア式を技術 t についてさらに微分すれば、

$$B_{m,t} = \frac{\partial \ln S_m}{\partial t} \quad (4)$$

となり $B_{m,t}$ は、産出で表される技術進歩の偏向性となる (output bias)。正の値は技術進歩が産出 m を増加させる方向 (m -favoring, m 重視型) に、負の値は減少させる方向にあることを示す。すなわち正の値は研究成果 m へ偏って生産可能曲線をシフトさせる技術進歩であることを意味する。

5. 推計モデル

距離関数の推計には一般に線形計画法または最小 2 乗法がもちいられる。線形計画法は潜在価格の正負 (汚染物質は負など) を事前条件として課すことができるが (Grosskopf, Margaritis, and Valdmanis [13])、統計的検定はできないため、本稿では最小 2 乗法で推計した。

推計にあたり、左辺の距離 D_0 については、Grosskopf, Hayes, and Hirschberg [12] にならい $D_0 = 1 (\ln D_0 = 0)$ とし、すべての品種が効率的であり生産可能曲線上にあると仮定した。産出距離関数における産出の一次同次を利用し制約付き最小 2 乗法 (restricted OLS) で推計した。関数型は、一次同次制約を事前に課すことができ、

既存研究でも一般的に採用されるトランスログ型をもちいる。

$$\begin{aligned} \ln D_0 = & \alpha_0 + \sum_{m=1}^3 \alpha_m \ln Y_m + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \sum_{m=1}^3 \alpha_{im} \ln Y_i \ln Y_m \\ & + \sum_{k=1}^2 \beta_k \ln x_k + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \beta_{jk} \ln x_j \ln x_k \\ & + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^3 \sum_{k=1}^2 \gamma_{mk} \ln Y_m \ln x_k + \sum_{i=1}^4 \delta_{it} \cdot D_i \\ & + \sum_{i=1}^4 \sum_{m=1}^3 \delta_{imt} \ln Y_m \cdot D_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 \delta_{itt} \cdot t^2 \cdot D_i \\ & + \delta_{gene} + \delta_b B \end{aligned} \quad (5)$$

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ は推計すべきパラメータ、 Y_1, Y_m は品種改良の成果、 x_j, x_k は投入要素で、添え字は、 $l, m =$ 収量 (Y)、稈長 (L)、蛋白質含有量 (P)、 $j, k =$ 研究員数 (SY)、窒素 (N) である。技術 t は農林番号である。 D_i は地域および品種ダミーで、 $i =$ 北海道・秋播き (F)、北海道・春播き (S)、府県・普通小麦 (K)、府県・硬質小麦 (H) の 4 地域である。 B は分施ダミーで、 $gene$ は遺伝資源導入率である。産出の一次同次 $\sum_{m=1}^3 \alpha_m = 1$ 、 $\sum_{m=1}^3 \alpha_{im} = \sum_{m=1}^3 \gamma_{mk} = \sum_{m=1}^3 \delta_{imt} = 0$ 、および係数の対称性 $\alpha_{im} = \alpha_{mi}$ 、 $\beta_{jk} = \beta_{kj}$ について事前に制約を課して推計した。

6. 推計データと遺伝資源域外導入率

データは農林登録前に作成される「新品種決定に関する参考成績書」または「小麦新配布系統に関する参考成績書」からえた。栽培方法は、標準播、ドリル播を、施肥水準は標肥、少肥、多肥のデータをもちいた。北海道はホクエイを除く全て、府県はトヨホコムギ以降^{註3)}の農林登録品種を対象とした。長さについては一般に短稈が多収化にとって望ましいため、便宜的にすべての稈長データをカバーする 120 cm から各品種の稈長を引いた。窒素投入量は耕種概要から求め、研究員数は育成従事者の延べ人数^{註4)}である。

遺伝資源の域外導入率は、まず遺伝資源共有範囲 (藤井・長南・近藤 [9]^{註5)}) をもとに「従来」の導入範囲、すなわち研究機関を①北海道の秋播き、②北海道の春播き、③府県 (東北から九州まで) の 3 つに大別した。その上で、3 者間の遺

伝資源交換および海外からの導入を「従来」とは異なる範囲からの導入と捉え、域外導入 (Recharge) とした。値は4世代前まで遡り世代を考慮して計算し、域外導入が多いほど値は0から1に近づくとした。

各品種の平均値を表2、3に示した。収量は上昇傾向にあるが、硬質小麦や春播きは低収である。稈長は北海道の初期に長稈種がみられるが、秋播きは徐々に短稈化し、春播きもハルユタカで短稈化して以降変化はなく、府県品種も80cm台で一定に推移している。蛋白質含有率は、春播きや硬質小麦が10～12%台を示し高蛋白である。

次に域外導入率は、北海道や関東、中国もトヨホコムギを除けば低いか低下傾向を示し、九州も同様である。遺伝資源探査が進み、望ましい形質をもつ品種が獲得されていった結果、遺伝資源ストックが拡充し、域外導入が減っていることを示している。

そうした中、九州の硬質系小麦は、それまでの値に比べ高い値となった。九州はもともとパン用の在来品種に乏しく、国内産パン小麦の育成にあたっては、域外導入、例えば北海道の春播き品種や海外からの導入が必要であり、こうした現状を反映している。

表2 各品種の平均値 (北海道)

農林番号	登録年	品種名	遺伝資源導入率	窒素 (kg/a)	SY (人数×年)	稈長 (cm)	収量 (kg/a)	蛋白質 (%)
108	1968	ムカコムギ	0.62	0.53	35	103.2	43.0	9.1
114	1974	ホロシコムギ	0.54	0.97	52	97.4	57.4	10.4
115	1974	タクネコムギ	0.67	0.99	40	95.1	51.7	12.1
126	1981	チホコムギ	0.29	1.12	44	92.4	58.3	9.2
136	1990	タイセツコムギ	0.50	1.23	58	89.8	71.2	9.8
142	1995	ホクシン	0.21	1.18	69	90.1	61.2	9.7
149	2000	きたもえ	0.08	1.13	77	87.5	57.2	9.7
秋播き平均 (n=190)			1.03	52.1	94.0	57.2	9.9	
104	1965	ハルヒカリ*	0.71	0.75	57	104.8	34.9	13.2
130	1985	ハルユタカ*	0.50	1.09	56	85.0	41.2	13.1
139	1993	春のあけぼの*	0.25	1.18	65	89.0	41.6	12.1
150	2000	はるひので*	0.25	1.15	72	86.1	40.3	12.9
春播き平均 (n=92)			1.06	60.9	90.1	40.1	12.8	

註) n は観察数を、*印は硬質系小麦であることを示す。

表3 各品種の平均値 (府県)

地域	農林番号	登録年	品種名	遺伝資源導入率	窒素 (kg/a)	SY (人数×年)	稈長 (cm)	収量 (kg/a)	蛋白質 (%)
東北品種	133	1988	ココキコムギ	0.67	1.02	66	82.9	39.8	14.0
	137	1992	あきたっこ	0.08	1.07	72	93.2	42.0	11.4
	152	2000	ネハリゴシ	1.00	0.76	48	81.1	37.8	11.3
	153	2001	ハルイブキ*	0.67	0.78	47	89.7	48.0	14.3
	157	2002	ゆきちから*	0.12	0.79	106	84.4	42.1	13.0
東北平均 (n=38)				0.87	65.5	86.2	42.3	12.9	
関東品種	119	1975	トヨホコムギ	0.83	0.45	113	83.5	37.8	8.0
	132	1988	アイラコムギ	0.33	0.55	67	84.1	52.6	9.3
	135	1990	バンドウワセ	0.25	0.52	76	80.6	51.9	9.7
	147	1999	あやひかり	0.17	0.41	42	85.8	58.8	10.1
	155	2002	タマイズミ*	0.0	0.41	45	83.8	43.4	12.8
163	2005	うららもち	0.04	0.45	36	81.0	58.9	10.8	
関東平均 (n=62)				0.47	61.0	83.1	51.3	10.3	
中国品種	128	1983	フクワセ	0.08	1.27	47	92.0	44.6	10.0
	156	2002	ふくさやか	0.46	0.93	47	86.4	47.1	8.0
	164	2005	ふくほのか	0.0	0.99	43	86.0	50.4	7.7
中国平均 (n=13)				0.98	45.5	86.7	48.2	8.1	
九州品種	134	1989	ダイチノマリ	0.21	1.19	36	83.8	47.4	8.3
	138	1992	アブクマワセ	0.12	1.18	69	80.3	36.2	8.9
	140	1993	きぬいろは	0.37	1.17	45	79.9	38.7	8.7
	141	1993	チクゴイズミ	0.08	1.17	23	88.0	50.0	7.7
	144	1995	ニシホナミ	0.17	0.84	29	80.2	43.5	8.4
	145	1999	イワイノダイチ	0.08	1.10	41	85.8	49.2	8.5
	146	1999	ニシノカオリ*	0.50	1.12	52	93.6	39.0	11.0
	160	2003	ミナミノカオリ*	0.54	1.17	53	81.5	39.4	10.8
九州平均 (n=41)				1.12	45.3	83.7	42.2	8.9	

註) n は観察数を、*印は硬質系小麦であることを示す。

註1) 両者と本稿の違いについて触れておきたい。本稿は小麦という1つの財がもつ2つの特性を扱うのに対し、Binswanger[2]は2財を対象とし資源配分の効率性について述べている。Evenson[6]は誘発的技術進歩の概念にしたがい生産可能曲線を2つの特性によって定義している。

註2) 耕種方法にはほかに畦幅や播種量が記載されているが、著者の聞き取りから特に分肥、つまり追肥をおこなうかどうかの結果に影響することがわかり、制御変数として考慮した。近年ではほとんどの場合追肥するが、70年代では基肥のみという場合もある。

註3) 蛋白質含有量など品質に関する調査は、分析機器の整備を経て1980年代以降おこなわれている。

註4) 育成従事者は、各品種の育成段階における投入要素としては重要な変数のひとつであり、分析に含めることとした。各研究室の研究員数はほぼ一定であることから、おもに育成に要した年数によって変化する。

註5) 畜産分野で利用される近縁係数により、試験機関の遺伝資源共有度を計算した。国立の試験機関に対し北海道や北見は遺伝資源の共有率が低いことが明らかとなっている。

Ⅲ 小麦品種改良の技術進歩

1. 推計結果

推計結果のパラメータを表4に示した。データのあてはまりを示す決定係数 R^2 については、左辺がすべてゼロ ($\ln 1 = 0$) で分散がないため計測式(5)の決定係数は計算されない。ただし推計は係数の和が定数になる(産出の)一次同次制約をもちい、任意の $Y_{1,m}$ を左辺に移項することによっておこなわれる。それぞれの場合の決定係数 R^2 は $Y(0.90)$ 、 $L(0.92)$ 、 $P(0.76)$ である。

表4 産出距離関数の推計結果

	係数	t 値		係数	t 値
定数	1.710	1.45	δ_{DFt}	-0.042	-3.34 **
α_Y	0.034	0.09	δ_{DFYt}	-0.001	-0.32
α_L	0.709	2.38 **	δ_{DFPt}	0.008	2.6 **
α_P	0.257	0.61	δ_{DFLt}	-0.008	-3.74 **
β_N	0.212	0.79	δ_{DFtt}	0.0004	3.47 **
β_{SY}	-0.773	-1.48	$\delta_{DS t}$	-0.044	-3.43 **
α_{YY}	0.157	2.74 **	$\delta_{DS Yt}$	-0.001	-0.4
α_{YL}	-0.002	-0.02	δ_{DSPt}	0.008	2.81 **
α_{YP}	-0.156	-1.59	δ_{DSLt}	-0.008	-3.81 **
α_{LL}	0.325	5.04 **	$\delta_{DS tt}$	0.0004	3.85 **
α_{LP}	-0.323	-3.47 **	$\delta_{DK t}$	-0.043	-3.93 **
α_{PP}	0.479	2.82 **	$\delta_{DK Yt}$	-0.001	-0.63
β_{NN}	-0.082	-1.81 *	$\delta_{DK Pt}$	0.008	2.75 **
β_{NSY}	-0.080	-1.29	$\delta_{DK Lt}$	-0.007	-3.56 **
β_{SYSY}	0.154	1.29	$\delta_{DK tt}$	0.0004	4.46 **
γ_{YN}	-0.101	-1.34	$\delta_{DH t}$	-0.028	-2.34 **
γ_{LN}	0.305	4.65 **	δ_{DHYt}	0.0001	0.03
γ_{PN}	-0.204	-2.28 **	δ_{DHPt}	0.005	2.15 **
γ_{YSY}	0.037	0.29	δ_{DHLt}	-0.005	-3.34 **
γ_{LSY}	0.103	0.85	$\delta_{DH tt}$	0.0001	1.24
γ_{PSY}	-0.140	-0.80			
分施ダミー	-0.039	-2.17 **			
δ_{gene}	-0.134	-4.10 **			

註) **, *はそれぞれ有意水準5%、10%で有意であることを示す。

2. 小麦品種改良における技術(遺伝資源ストック)の効果

1) 技術進歩率

上記(3)式よりえられる遺伝資源ストックによる技術進歩率を表5に示した。各地の平均値で評価している。負の値は技術進歩を示し遺伝資源ストックはプラスに貢献する。他方、正の値は必ずしも貢献がみられないことを示す。

結果はすべての地域で負の値を示した。遺伝資源ストックが生産可能曲線のシフトに貢献し、技術進歩がみられた。

元来めん用に適する日本の在来種は、品種改良も研究機関による組織的な育種が開始する以前から、いわゆる篤農家と呼ばれる人々を中心におこなわれ、多くの改良品種が蓄積されてきた。めん用品種である北海道・秋播き、府県・普通小麦の技術進歩は、こうした長い年月に亘る蓄積の成果を反映しているといえる。

北海道の春播きについても、めん用品種に比べれば育種の歴史は古くないものの、戦前、北海道における小麦育種が開始された当初からパン用として硬質小麦の育成が進められた。その後、一時的に停滞した時期はあるものの、国内唯一のパン用品種育成地であったことから、高まる国内需要を背景に育種が再開され、海外からの遺伝資源も導入しながら、硬質小麦品種の蓄積が進んだ。北海道・春播きの技術進歩は、こうした遺伝資源の蓄積を背景としている。

府県・硬質小麦の育成は開始されたばかりであるが、前述したように、国内には北海道の春播き品種に硬質小麦品種の蓄積がある。栽培条件を示す播き性程度もI~IIと春播き性^{註1)}が高く、西南暖地など九州の栽培条件と類似する。北海道品種をこれら地域に直接導入することは必ずしも容易ではないが、交配親にもちいるなど、北海道の蓄積が府県の硬質小麦育成に貢献したものと考えられる。

表5 技術進歩率

品種		技術進歩率 $\epsilon_{D,t}$
北海道	秋播き	-0.006
	春播き	-0.002
府県	普通	-0.002
	硬質	-0.014

註) 負の値が技術進歩を示す。

2) 技術進歩の偏向性

上記(4)式よりえられる技術進歩の偏向性について、表6に示した。データの平均値で評価している。すべての結果で蛋白質は正となり、遺伝資源ストックは生産可能曲線を蛋白質重視型(P-favoring)へとシフトさせた。

稈長については負の値となり、生産可能曲線は必ずしも短稈化を示さなかった。現在、短稈遺伝子はほとんどの品種に導入され既に一定の成果を収めている。機械利用の点からもこれ以上の短稈化は不必要となり、必ずしも重要な育種目標ではない。以上のことを考えれば、妥当な結果といえよう。収量については、府県・硬質を除いて負の値となり必ずしも収量重視の結果とはならなかったが、値そのものは小さい。

以上の結果を生産可能曲線によって模式的に示したのが図2である。収量は負の値を、蛋白質は正の値となったことから、生産可能曲線は蛋白質に偏ってシフトした。収量は若干低下する結果となったが、品質を左右する蛋白質含有率に偏った品種改良が進められてきたことは高品質化への需要が高まる中、品質取引の開始に対応した育種成果となっている。

表6 技術進歩の偏向性

		収量(Y) $B_{Y,t}$	稈長(L) $B_{L,t}$	蛋白質(P) $B_{P,t}$
北海道	秋播き	-0.003	-0.030	0.018
	春播き	-0.005	-0.039	0.013
府県	普通	-0.007	-0.018	0.017
	硬質	0.0002	-0.016	0.015

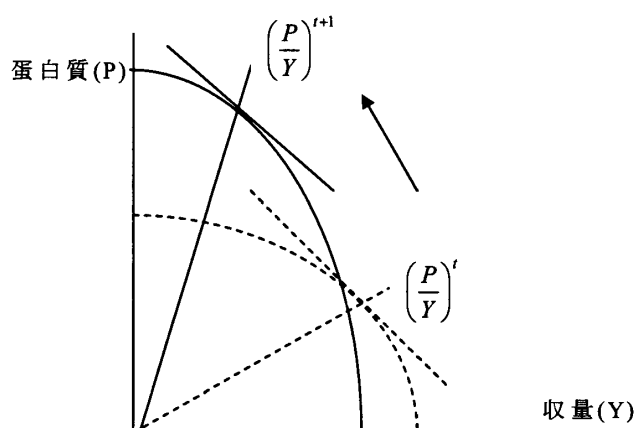


図2 小麦品種改良における技術進歩の偏向性

註) 模式図でありシフト率は考慮していない。

3) 各品種の潜在価格比

各品種の平均値で評価した潜在価格比から、実際に育成された品種の特性がどのように変化してきたのかみていきたい。式(1)からえられる潜在価格比を表7に示した。

蛋白質と収量で潜在価格比をみると (r_y/r_p) 、府県の硬質小麦を除くすべてにおいて、一貫して価格比が低下、すなわち蛋白質の潜在価格が相対的に上昇する結果となった。蛋白質重視の技術進歩にあわせ、潜在価格も変化していることがわかる。潜在価格が市場価格^{註2)}と連動するとすれば、前節の誘発的技術進歩に沿う結果となった。

表7 各品種の潜在価格比率

登録年	農林番号	品種名	r ₁ /r ₀	r ₂ /r ₁	r ₃ /r ₂	登録年	農林番号	品種名	r ₁ /r ₀	r ₂ /r ₁	r ₃ /r ₂
1968	108	ムカコムギ	0.113	4.834	42.76	1975	119	トヨホコムギ	0.239	0.999	4.16
1974	114	ホロシリコムギ	0.120	1.814	15.04	1988	132	アイラコムギ	0.114	0.949	8.47
1974	115	タクネコムギ	0.109	1.939	17.49	開 1990	135	バンドウセ	0.115	0.902	7.99
1981	126	チホコムギ	0.115	1.490	13.23	東 1999	147	あやひかり	0.064	1.772	27.21
1990	136	タイセツコムギ	0.099	1.431	14.74	2002	155	タマイズミ*	0.245	2.490	10.03
1995	142	ホクシン	0.093	1.800	19.57	2005	163	うららもち	0.048	2.313	47.28
2000	149	きたもえ	0.088	2.028	23.02	1983	128	フクワセコムギ	0.085	0.751	8.73
1965	104	ハルヒカリ*	0.093	5.626	60.40	2002	156	ふくさやか	0.061	0.995	16.20
1985	130	ハルユタカ*	0.092	1.356	14.93	中 2005	164	ふくほのか	0.051	1.037	19.73
1993	139	春のあけぼの*	0.079	1.887	23.83	1989	134	ダイチノミドリ	0.111	0.638	5.90
2000	150	はるひので*	0.065	2.444	37.21	1992	138	アブコマワセ	0.077	0.480	6.09
1988	133	コユキコムギ	0.062	0.540	8.71	九 1993	140	きぬいろは	0.098	0.571	5.73
1992	137	あきたっこ	0.064	0.951	14.91	州 1993	141	チクゴイズミ	0.070	0.769	10.62
2000	152	ネリゴシ	0.046	0.913	20.01	1995	144	ニシホナミ	0.075	0.753	9.81
2001	153	ハルイブキ*	0.223	2.199	9.95	1999	145	イワイノダイチ	0.073	0.765	10.26
2002	157	ゆきちから*	0.320	1.635	5.15	1999	146	ニシノカオリ*	0.328	1.719	5.22
						2003	160	ミナミカオリ*	0.434	1.304	2.96

註1) *印は硬質系小麦であることを示す。春播きは全て硬質系小麦である。
 註2) 潜在価格比のrは、文中(1)式よりえられる潜在価格(シャドウプライス)である。

4) 遺伝資源の域外導入

最後に、遺伝資源の域外導入(Recharge)の効果についてみていく。域外導入率と技術進歩の関連について、以下のとおり偏微分する。ただし、 $\delta_g < (>) 0$ 、技術進歩(後退)である。

$$\frac{\partial \ln D_0}{\partial \text{gene}} = \delta_{\text{gene}}$$

結果は表4から $\delta_{\text{gene}} = -0.134$ となり負で有意となった。遺伝資源の域外導入が生産可能曲線をシフトし、技術進歩率を促進させることがわかる。

すなわち海外を含め、「従来」とは異なる範囲からの導入が技術進歩につながることから、研究者同士の交流を促進するとともに、遺伝資源へのアクセスが重要となることを示唆している。

註1) 麦特有の特性に、冬期に一定期間の低温を必要とする「播き性程度」があり、秋播き性が高いほど低温要求度は高い。北海道では播き性の高い(V~VI)品種を秋に播き、播き性の低い品種(I~II)を春に播く(一部初冬播き)が、府県では秋播き性の低い春播き品種(I~II)を秋に播種している。育種学の成果は後藤[11]を参照のこと。

註2) 利潤最大化のもとでは、潜在価格比と品質価格

比は等しくなる。品質個々の価格が存在しないことから、今回は潜在価格を示すにとどめ、潜在価格と小麦の品質価格の比較は、稿を改めて分析を試みたい。

IV 結論

本稿の第1の目的は、誘発的技術進歩の枠組みにしたがって小麦品種改良における技術進歩の偏向性を明らかにすることであった。育種目標が量的改良から質的改良へと変化する中で、技術進歩の方向性を明らかにすることは、資源配分の効率性という点からも重要な課題である。

分析の結果、高蛋白化へ偏った技術進歩がみられた。日本の小麦品種改良が政策や需要の与件変化に対応し、高品質小麦の育成を進めてきたといえよう。したがって小麦育種は、研究開発資源を効率的に配分することにより、品種選択範囲の拡大に貢献してきたといえる。

第2の目的は、品種改良における遺伝資源ストックおよび域外導入の役割について明らかにすることであった。遺伝資源ストックの代理変数としてもちいた農林番号は、生産可能曲線を外側へシフトし技術進歩に貢献した。長い期間に亘って遺伝資源を探索し、未知の遺伝資源を既知の育種材料として蓄積する作業により、これら遺伝資源ストックが技術進歩および小麦育種の品質需要対応に貢献する結果となった。

最後に、遺伝資源導入(Recharge)の貢献が明らかとなったことから、今後も、研究者同士の交流および情報交換を促進することが重要になるとともに、海外からの導入にあたっては、強化されつつある所有権の動向および遺伝資源アクセスについて留意する必要がある。

謝辞

データ収集および育種に関する文献収集の段階で、北海道農業研究センターの田引正氏よりご協力・ご教示を賜った。また、本誌レフェリーから有意義なご指摘を頂いた。記して謝辞を述べたい。

引用文献

- [1] Aiken, D. V., "Application of the distance function to nonmarket valuation of environmental goods and services: An illustrative example," *Ecological Economics*, 60, 2006 : 168-75.
- [2] Binswanger, H. P., "The Microeconomics of Induced Technical Change," in *Induced Innovation -Technology, Institutions, and Development-*, ed. by Binswanger, H.P. and V. W. Ruttan, The Johns Hopkins University Press, 1978.
- [3] Brümmer B., T. Glauben, and G. Thijssen, "Decomposition of productivity growth using distance functions: The case of dairy farms in three european countries," *American Journal of Agricultural Economics*, 84(3), 2002 : 628-644.
- [4] Coelli T., and S. Perelman, "A comparison of parametric and non-parametric distance functions: With application to European railways," *European Journal of Operational Research*, 117, 1999 : 326-339.
- [5] Cohn, E., S. Rhine, and M. Santos, "Institutions of Higher Educations as Multi-Product Firms: Economies of Scale and Scope," *Review of Economics and Statistics*, 71, 1989 : 284-290.
- [6] Evenson, R. E., "Plant Breeding: A Case of Induced Innovation," in *Agricultural Values of Plant Genetic Resources*, ed. by Evenson, R. E., D. Gollin, and V. Santaniello, 1998.
- [7] Färe, R., S. Grosskopf, and S. Yaisawarng, "Derivation of shadow prices for undesirable outputs: A distance function approach," *Review of Economics and Statistics*, 75(2), 1993 : 374-380.

- [8] Färe, R., and D. Primont, *Multi-Output Production and Duality: Theory and Applications*, Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [9] 藤井陽子, 長南史男, 近藤巧「小麦育種制度の歴史的変遷とスピルオーバーに関する分析」『2005年度日本農業経済学会論文集』, 2006: 81-88.
- [10] 藤井陽子, 長南史男「小麦育種における品種改良の成果と肥料反応関数」『農経論叢』, 第62集, 2006: 163-171.
- [11] 後藤虎男「コムギの出穂性に関する生態学的ならびに遺伝学的研究」, 『東北農業試験場研究報告』, 第59号, 1979.
- [12] Grosskopf, S., K. Hayes, and J. Hirschberg, "Fiscal stress and the production of public safety: A distance function approach," *Journal of Public Economics*, 57, 1995: 277-296.
- [13] Grosskopf, S., D. Margaritis, and V. Valdmanis, "Estimating output substitutability of hospital services: A distance function approach," *European Journal of Operational Research*, 80, 1995: 575-587.
- [14] Irz X., and C. Thirtle, "Dual technological Development in Botswana agriculture: A stochastic input distance function approach," *Journal of Agricultural Economics*, 55(3), 2004: 455-478.
- [15] Jaffe, A., "Real Effects of Academic Research," *American Economic Review*, 79, 1989: 984-999.
- [16] Kuroda, Y., "The Output Bias of Technological Change in Postwar Japanese Agriculture," *American Journal of Agricultural Economics*, 70, 1988: 663-673.
- [17] 中村洋「コムギ・グルテニンタンパク質の遺伝変異とコムギ育種」, 『農業および園芸』, 第77巻第4号, 2002: 475-480.
- [18] 野中舜二「半矮性コムギの育種」, 『育種学最近の進歩』, 第27集, 第27回日本育種学会シンポジウム報告, 日本育種学会編, 啓学出版, 1985.
- [19] 折原直『日本の麦政策—その経緯と展開方向—』, 農林統計協会, 2000.
- [20] Rubenstein, K. D., and M. Smale, "International Exchange of Genetic Resources, the Role of Information and Implications for Ownership: The case of the U.S. National Plant Germplasm System," *IFPRI Discussion Paper*, No. 119, July, 2004.
- [21] 崎浦誠治『稲品種改良の経済分析』, 養賢堂, 1984.
- [22] Srinivasan, C. S., "The International Trends In Plant Variety Protection," *Electronic Journal of Agricultural and Development Economics*, 2, 2005: 182-220.
- [23] Traxler, G., and D. Byerlee, "A Joint-Product Analysis of the Adoption of Modern Cereal Varieties in Developing Countries," *American Journal of Agricultural Economics*, 75, 1993: 981-989.
- [24] Xia, Y., and S. Buccola, "University Life Science Programs and Agricultural Biotechnology," *American Journal of Agricultural Economics*, 87, 2005: 229-243.
- [25] 安室喜正「コムギ種子貯蔵タンパク質の遺伝的改良」, 『育種学最近の進歩』, 第30集, 第30回日本育種学会シンポジウム報告, 日本育種学会編, 養賢堂, 1989.

(2007年9月13日受理)