Yasuo Otsuka : Application of Intersecting Straight Line Models for Analysis of Cutivers' Ecological Characteristics.

作物品種の生態的特性解析への折れ線回帰モデルの適用

大塚 雍雄

(新潟大学農学部, 新潟市五十嵐二の町 8050, 〒 950-21)

Key Words : regression analysis, intersecting straight line model, ecological characteristics, personal computer.

緒 言

作物品種の諸特性のなかで、温度や日長などの環境要因に対する反応特性、すなわち生態的特性を明かにすることは、例えば栽培環境に適合した品種を選択する場合に極めて重要である。そのために、しばしば環境条件の水準を何段階かに設定して栽培試験を行い、品種の環境要因に対する反応特性を把握しようとする。このような試験は、一般に試験規模が大きくなりしかも長期間を費やすことになるので、試験結果から目的とする情報を適切に抽出できる統計的手法が望まれている。

このような問題に対処するため、筆者らは独立変数が1つの場合の回帰モデルとして「折れ線モデル」をその適用手法とともに提案した(大塚・吉原 1975)。今回、この折れ線回帰モデルを適用するためのパーソナルコンピュータ用プログラムを作成したのでその概要を報告するとともに、品種の生態的特性の把握とそれに基づく品種の分類など、育種分野で折れ線回帰モデルを有効に適用した研究事例をまとめて紹介する。

折れ線モデルとは

回帰分析において適用される数学的モデルの中で、原因系(独立変数)が1つの場合の最も簡単なものは直線回帰モデルである。しかし、例えば温度条件や薬剤・肥料の施用量などに対する生物の反応解析においては、原因と結果との間に直線関係が仮定しにくい場合があり、一般には様々な曲線回帰モデルが適用される。しかし、滑らかな反応を前提とした曲線のあてはめによっては、反応が変化するポイントはどこか、いつ反応が定常状態に達したとみなせるか、最適な処理量はどうか、という

ような研究の目的とする情報を、適切に把握し評価することが難しいことがある。

このような問題に就いて、実験結果から農業技術のために実用的な意味で有用な情報を得るために検討されたものが折れ線回帰モデルである。すなわち、独立変数の領域を互いに重ならないように分割して、それぞれの領域での反応は異なる傾斜(フラットになる場合を含めて)をもつ直線であり、しかもそれらの直線が連続であると仮定した場合の回帰モデルを折れ線回帰モデルと名付けて提案した。このモデルを適用することにより、反応の直線的な変化の傾向とその反応が変化する点(折曲点)を同一の誤差空間の下で推定することができる。

独立変数の領域を最大3分割し、それぞれの領域での反応を組み合わせると9タイプの折れ線が得られる。それぞれのタイプについて折れ線モデルを構築するとともに、モデルを適用するためのアルゴリズムを提示した。

パソコン用プログラム「ORESEN」の作成

折れ線モデルを適用するにあたっては、計算量が膨大であり、かつては電子計算機でも計算に長時間を要した。そのため、これまでに大型計算機によるバッチ処理用のプログラムを作成し利用に供してきた(大塚 1978)。しかし、最近ではパソコンが急速に普及するとともにその機能が向上し、演算速度も格段に高まった。そこで、今回手軽に利用できるパソコン用プログラムを作成したのでその概要を報告し、研究用に提供することとした。

1. プログラムの機能と処理手順

折れ線回帰用プログラムは、回帰分析の諸手法を統合したプログラムパッケージ「DPPACK. REG」(大塚：未発表)の中で稼働する。「DPPACK. REG」の利用手順は次の通りである。

1. 「DPPACK. REG」の利用開始
2. メインメニューから処理内容(プログラム)を選択
3. 選択したプログラムの実行
4. 選択したプログラムの終了

5. メインメニューの表示→2へ, または

6. 「DPPACK. REG」の利用終了

なお, プログラムの操作等はすべてメニュー方式となっており, メニューから必要な操作を番号で指示することにより容易に処理をすすめることができる.

処理は次に示すように, まず, A データ管理プログラムによりデータを入力し, 次に, B 折れ線回帰プログラムを選択して計算を実施する.

A. 「DPPACK. REG」のメインメニューで「データ管理」を選択

「データ管理 (プログラム名は TWDATA)」は行列データを処理する汎用プログラムである. まず, サブメニューにしたがってキーボードまたは保存ファイルからデータを入力する. キーボードからの入力は入力促進メッセージにしたがって, 行数 (標本数), 列数 (変数の数), 行列データの順に入力する. このとき, 行名, 列名, 列毎のデータ表示書式には既定値が与えられる. 具体的な値は TWDATA の修正機能によって書換えることができる. また, 入力データは一定の書式でファイルに保存し, 繰り返し利用できる. 標準データファイル (DPPACK ファイルと呼ぶ) には, 次の順にデータが書き込まれる.

- ①行数 (整数型), ②列数 (整数型),
- ③行名 (文字型), ④列名 (文字型),
- ⑤列毎のデータ表示書式 (文字型),
- ⑥行列データ (実数型)

B. 「DPPACK. REG」のメインメニューで「折れ線回帰分析」を選択

「折れ線回帰分析 (プログラム名は ORESEN)」のサブメニューにしたがって処理を進める.

(1) 折れ線あてはめの諸条件の選択

- ①独立変数, 目的変数の選択
- ②適用する折れ線タイプの選択 (Fig. 1 参照)

Fig. 1. Display for choice of intersecting straight line models and algorithms to fit them.

③折れ線あてはめのアルゴリズムの選択 (Fig. 1 参照)

1. 方法 A: 折曲点が独立変数の測定値の範囲内にあると仮定して逐次移動して与え, 残差が最小のものを求める折れ線とする
2. 方法 B: 折曲点が独立変数の隣接する 2 つの測定値間にあると仮定してその区間を移動して与え, 残差が最小のものを求める折れ線とする
3. 方法 B → 方法 A: 方法 B では折曲点が求まらないとき方法 A を適用する
4. 折曲点指定: 折曲点が既知のとき
5. シンプレックス法: シンプレックス法のアルゴリズムを回帰残差を収束条件として適用する (パソコン用プログラムで採用)

④条件の確認, 実行の指示

(2) 計算の実行

- ①折曲点の初期値を指定する (演算時間の短縮のため)
- ②計算の途中経過がグラフで表示される
- ③計算結果を参照して, 初期値等の再指定を行うことができる
- ④計算結果を出力するかどうかを指示する

(3) 結果の出力

サブメニューから選択して次の諸結果を出力する.

- ①折れ線あてはめの諸条件, 選択した独立変数 (X), 目的変数 (Y) の元データ
- ②採用した折れ線モデルおよびアルゴリズムに基づく最終の重回帰データ行列
- ③分散分析表, 偏回帰係数の推定値・t 統計量等
- ④ Y の推定値, 残差, 信頼区間等
- ⑤折れ線グラフ

(4) 折れ線あてはめの諸条件の変更

同一の独立変数で複数の目的変数を選択した場合は, 結果を重ね合わせた折れ線グラフを出力できる (Fig. 2 参照).

(5) 「折れ線回帰分析」の終了, 「DPPACK. REG」メインメニューへもどる.

2. プログラムの利用条件

使用言語・OS: N 88 BASIC, MS-DOS (V 3.1)

使用機器・構成: PC-9800 シリーズ (640 KB), 高解像度カラーディスプレイ, プリンタ

3. プログラムの提供

提供条件: 研究目的に限り提供する

提供形態: 3.5 インチまたは 5 インチフロッピー (プログラム用 1 枚, テストデータ用 1 枚), 利用マニュアル

Fig. 2. An example of graphical display of the type-4 model fitting, showing simultaneously results of three samples.

品種特性把握への適用事例

筆者ら (1975) の報告以後、様々な問題に折れ線回帰モデルが適用され、その有用性が検証されてきたが、ここではとくに作物品種の特性把握のために適用された事例を中心に概観したい。

種々の環境要因に対して作物がどのように反応するか、また、その反応のしかたが品種、栽培条件、年次でどのように異なるかという問題は、品種の選択等の判断のために重要である。吉原ら (1978) は、3 ケ年にわたって水稻の 3 品種と 3 施肥法の組合せによる 9 試験区を設けて栽培試験を実施し、各試験区について出穂後 5 日毎に 9 回にわたって登熟歩合を 1 次枝梗、2 次枝梗に分けて調査した。このデータにタイプ-2、タイプ-4 の折れ線モデルをあてはめ、それぞれの試験区について出穂後の積算温度に対して登熟歩合が直線的に上昇した度合 (回帰係数)、登熟歩合が平衡に達する点 (折曲点) などの折れ線特性を算出した。さらに、これら特性値を分散分析し、品種の登熟特性およびその施肥法、年次との交互作用を明かにし、刈取適期の判断等栽培技術上有用な知見を得た。

関上ら (1993) は、二毛作限界地帯における水稻の刈取時期を判定するための基準を得るために、4 年にわたって品種「朝の光」と「青い空」を供試し、出穂後約 30 日まで 2~5 日間隔でサンプリングによって帯緑歩合、登熟歩合等を調査した。出穂後の積算温度に対する帯緑歩合の関数にタイプ-2 の折れ線モデルをあてはめて検討した結果、出穂後帯緑歩合が直線的に減少しやがて平衡に達する時期 (積算温度) は、年次に関係なく品種の特性であることが判明した。このことから、積算温度によって刈取時期を判定することが可能であるとされた。

谷藤ら (1980) は、水稻の気象条件に対する反応の品

種間差異をみるために、早生、中性、晩生の代表的品種を供試して実験を行い、登熟期間の気温と登熟歩合、水温と分けつ発生、水温と出穂期、出穂遅延日数と減収率等の関係について、タイプ-3、タイプ-4 の折れ線モデルをあてはめて検討し、品種の気温ならびに水温に対する反応特性を明かにし、品種の作付け適地決定などに有用な情報を得た。

小高・阿部 (1981) は低温下における水稻の登熟性の良否についての品種間差異を把握するために、2 年にわたって栽培種 30 品種を供試して、出穂から登熟まで 7 日おきに 9 回標本抽出して登熟歩合を調査し、出穂後の積算温度に対する登熟歩合の推移をタイプ-3 の折れ線モデルをあてはめて検討した。その結果、第 1 直線の回帰係数と第 2 直線の回帰係数の大きさにより品種を 4 グループに分類できること、さらに折曲点の積算温度と登熟歩合を基準にして、出穂後の積算温度が低い場合にも初期登熟が良好な品種が存在し、それらは受光態勢の良い草型の品種と一致することを明かにした。

金ら (1981, 1984) は、とくに水稻品種「レイメイ」と「キヨニシキ」をとりあげ、水温、地温、苗の種類を変えて移植後の積算温度に対する葉令の関数にタイプ-3 の折れ線モデルをあてはめて検討し、「キヨニシキ」は「レイメイ」に比べて出葉速度が速いなどの出葉特性を明かにした。同様に金ら (1982) は、折れ線モデルを適用して多収性外国稲と日本稲の出穂特性を比較調査している。また、三木 (1983) は、稚苗の移植後日数に対する葉令の関数に折れ線モデルをあてはめることにより、折曲点などの特性値を苗の活着の判定基準として利用できることを検討した。

稲は一般に播種期が遅れると出穂期も遅れるが、出穂まで日数は短縮される。石原ら (1978) は、陸稲の在来種 285、農林登録種 50、地方番号系統 114、その他の品種 13 を供試して播種期を 6 回にわけて栽培し、それぞれの播種期における出穂まで日数 (到穂日数) の関数にタイプ-3 の折れ線モデルを適用し、各品種の到穂特性値を抽出した。それらの特性値を用いて主成分分析を行い品種の分類を試みた。さらに、基本栄養生長性、感光性、感温性などの生態的特性が明かな水稻 51 品種を供試して、同様な調査と分析を実施して陸稲品種の結果と比較・検討したところ、第 1 主成分スコアの大小は、感光性と自然日長下での感温性を代表する総合特性値であることを明かにした。このことから、折れ線特性値による陸稲の生態型の分類が可能であるとした。

洪 (1979) は、韓国における晩播ダイズの生態的特性を明かにする研究の一環として、日本種 27、韓国種 38、アメリカ種 25 を供試して播種期を 6 回に分けて栽培し、播種期に対する子実収量の関数にタイプ-3 の折れ線モデルを適用して検討した。その結果、第 1 直線と第 2 直線の回帰係数の符号と大きさ等の折れ線特性値によって品種のグループ分けができること、また、折れ線特性値

から晩播適応性の高い品種グループには韓国種が多く含まれることを明かにした。

その他、品種特性の把握ではないが、幸田（1983）は、田畑輪換栽培に関する研究の一環として地下水位と作物の生育・収量の関係に折れ線モデルを適用し、作物毎に許容できる地下水位を求めた。また、宮城県（1982）では、東北新幹線の高架橋による稲作への影響を判定する基準値をうるために折れ線モデルを適用するなど、様々な問題への適用事例がある。

引用文献

- 洪 殷憲（1979）韓国における晩播大豆の生育特性と収量解析に関する研究。韓国農村振興庁作物試験場（学位論文，日本語）。
- 石原正敏・新妻芳弘・堀江正樹・大塚雍雄（1979）陸稲の播種期移動にともなう到穂日数の品種間差異—2報 到穂日数変化パターンによる分類—。日作紀 48（別号1）：217-218。
- 金 忠男・片岡孝義（1981）折れ線モデルによる水稻の出葉速度と転換点の解明。日作紀 50（別号1）：117-118。
- ・松尾喜義・片岡孝義（1982）多収性外国稲の品種生態の解明 2. 出葉経過の特徴。日作紀 51（別号1）：7-8。
- ・関 寛三・松本 顕（1984）レイメイとキヨニシキの出穂特性に関する二・三の知見。日本作物学会 東北支部会報 27：25-28。
- 幸田浩俊（1983）野菜類と普通作物による低湿地帯の田畑輪換栽培に関する研究 第1報 地下水位と作物の生育・収量（作土層の水分吸引圧・気相率及び土壌養分の動態との関係）。茨城農試研報 22：25-63。
- 小高真一・安部信行（1981）水稻登熟気温の品種間差異について。農業気象 37（3）：245-248。
- 三木弘乗（1983）東北地方北部における水稻活着に関する研究。青森農試研報 27：1-69。
- 宮城県（1982）日本国有鉄道仙台新幹線工事局委託調査（昭和53-56年度）東北新幹線建設による農作物（水稻）におよぼす影響調査総合報告書 調査結果 3. 減収尺度の推定：73-88。
- 大塚雍雄・吉原雅彦（1975）1ないし2の折曲点をもつ折れ線モデルのあてはめ。応用統計学 5（1）：29-39。
- （1978）折れ線モデルのあてはめ。農林研究計算センター報告 A 14：1-31。
- 関上直幸・唐沢 智・小林和弘（1993）二毛作における水稻の刈取適期。群馬農業研究 A 総合 10：21-28。
- 谷藤雄二・後藤清三・加藤雄一・梅津敏彦・佐藤勘治（1980）水稻品種の気象反応と適応性に関する定量的研究。山形農試研報 14：1-17。
- 吉原雅彦・高城哲男・白戸 剛・大塚雍雄・堀江正樹（1978）水稻の登熟推移の比較。日作紀 47（2）：235-242。