

# ノンパラメトリックDVR法によるキャベツの収穫期予測

武田 悟・加賀屋博行

## はじめに

秋田県の販売用キャベツの作型は、6月中旬～7月上旬収穫の初夏どり、9月下旬収穫の秋どりが主である。近年、産地では集出荷計画や、市場への情報発信による有利な価格形成のため、収穫・出荷時期を予測することが、極めて重要になっている。

現在、キャベツの収穫期の予測は、生育日数や積算気温、それに生育状況を目安に行われている。しかし生育日数や積算気温による予測は、平年と大きく異なる気象が続いた場合には誤差が生じやすく、実用的でない。また、作型によって目安の値が異なることから、新作型を試みる際には利用できない。

一方、生育状況からの予測は、基準となる生育ステージが確立しておらず、きわめて曖昧な「結球期」が作業上の目安として用いられている程度である。しかも、結球期自体に明確な基準がなく、個々がめいめいに判断している現状にある。これらの結果、収穫期の予測は極めて不確実なものになり、予定出荷時期に収穫できなかつたり、またはそれ以前に収穫されることで、出荷計画にずれが生じ、買手の信頼を損ね、さらに販売価格の低迷を招く恐れがある。

キャベツは比較的冷涼な気候を好み、生育適温は日平均気温15～20℃である。生育適温を越えると生育が停滞し、適温幅は生育初期よりも、結球が認められるからの時期で狭くなるとされている<sup>1)</sup>。本県の初夏どりでは収穫期近くが、秋どりでは生育初期が高温期に当る。反面、低温期には生育が停滞し、生育期間が長くなる。これらのことから、収穫期予測には低温、高温両方で生育が停滞することを評価できる手法が必要となる。

従来の生育予測では、前述の積算温度法や、作物の生育温度のみを積算する有効積算温度法が用いられる場合が多い。関東の冬作ダイコンについて、積算温度法が有効<sup>2)</sup>との報告があるが、この中でも、積算温度法では高温域での生育停滞が評価できない欠点があると述べている。また、一定の関数形を用いて生育を説明するのは、作物生育が特定の気象要素に対して規則的に反応するとの仮定に基づくもので、どの場合はどのような関数形を選択すべきかについては明確な基準がない。

そこで筆者らは、堀江ら<sup>3)</sup>が提唱した、生育段階を生育速度(DVR、Developmental Rate)の積算値である生育指数(DVI、Developmental Index)で表す手法を用いた。ここでは、DVRは日平均気温に対応する値とし、関数形にとらわれず、弱い仮定のもとでDVRを推定できるノンパラメトリック平滑化手法<sup>4)</sup>(ノンパラメトリックDVR法)で求めた。このDVRから収穫期の予測が可能か検討したところ、実用性が高いとの結果を得た<sup>3)</sup>ため、報告する。

## 1. 試験方法

本県の初夏どり、秋どり作型での主要品種‘YR青春二号’(渡辺採種場)を用い、1996年と1997年に作期移動試験(表1の14作期)を行った。苗は、セルトレイ(80穴、45cc/穴)で育苗し、葉齢3.5枚で農試圃場に定植した。1作期2aを作付け、うち50株を生育調査株とし、結球期、収穫期を調査した。施肥量(N成分20kg/10a)、栽植密度(4,762株/10a)他は当場の慣行栽培法で行った。

表1 作期ごとの結球期、収穫期及び収穫期までの日数

年次	定植期 (月/日)	結球期 (月/日)	収穫期 (月/日)	収穫期まで日数(日)	
				定植期 から	結球期 から
1996	4/16	6/10	7/3	78	23
	5/1	6/21	7/10	70	19
	5/17	6/27	7/18	62	21
	5/31	7/10	7/31	61	21
	6/14	7/27	8/22	69	26
	8/1	9/12	10/5	65	23
	8/16	9/23	10/20	65	27
1997	8/30	10/4	11/4	66	31
	4/15	6/7	6/26	72	19
	5/1	6/17	7/7	67	20
	5/16	6/23	7/14	59	21
	5/30	7/5	7/29	60	24
	7/3	8/9	9/5	64	27
	9/1	10/6	11/11	71	36

結球期には一般的な基準はないが、米村ら<sup>7)</sup>は冬作で、結球部の縦径と横径の比が1程度の時に生育相を分割すると、収穫期の推定誤差が小さいとしている。そこで、事前に当品種での結球部の縦径と横径が1になる時期を調査したところ、結球部の横径が6.5~7 cmの時期であることがわかった。これは、硬式テニスボール（直径6.5~6.8）の大きさとほぼ同じである。よって結球期の判定基準を、5割の株の結球部が硬式テニスボール以上になった時期とした。

収穫期は、結球部最外葉の葉縁がわずかにめくれ、球表面の光沢が増し、球を上から押した時の抵抗の大きさから判断し、5割の株が収穫可能となった時期とした。

2カ年、14作期の定植期、結球期、収穫期と、両年の日平均気温（アメダスデータ）から、日平均気温（T）に対するDVR（T）を推定した。推定には、ノンパラメトリックDVR推定プログラムNONPARA（金野・竹澤ら1989）を用い、定植期~収穫期、結球期~収穫期の2つの生育期間について求めた。なお、DVR推定時の平滑度指数（λ）は、予測誤差が最も小さかった4,000とした。

収穫期の予測は、生育ステージの始まり（定植期または結球期）のDVIを0とし、日々のDVRを積算し、DVIが1となった時点をもって収穫期とする。これを式で表すと、

$$DVI(n) = \sum_{i=1}^n DVR(T_i) = 1 \quad (1)式$$

となる。ここで、iは定植期、または結球期からの日数、DVR(T<sub>i</sub>)はiの日平均気温に対するDVR値、nはDVIが1となる日である。

## 2. 試験結果及び考察

作期ごとの定植期、結球期、収穫期（表1）と、2カ年の日平均気温（図1）から算出されたDVR（T）は、キャベツの生育適温とされる温度帯で高く、その前後では低く、生育特性を適正に反映した値となった。特に結球期~収穫期では、DVRの大きい温度帯が狭く（図2）、この時期の生育速度は温度による影響が大きい事を示しており、従来の知見<sup>1)</sup>と一致する。

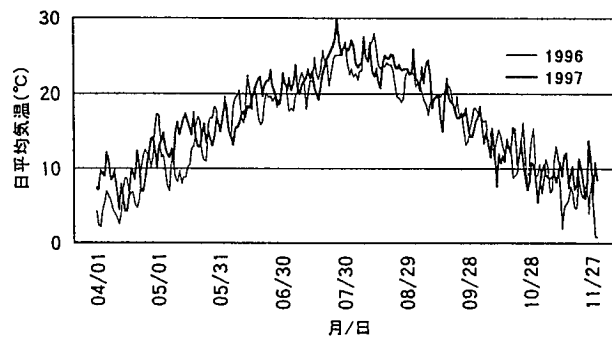


図1 日平均気温の推移

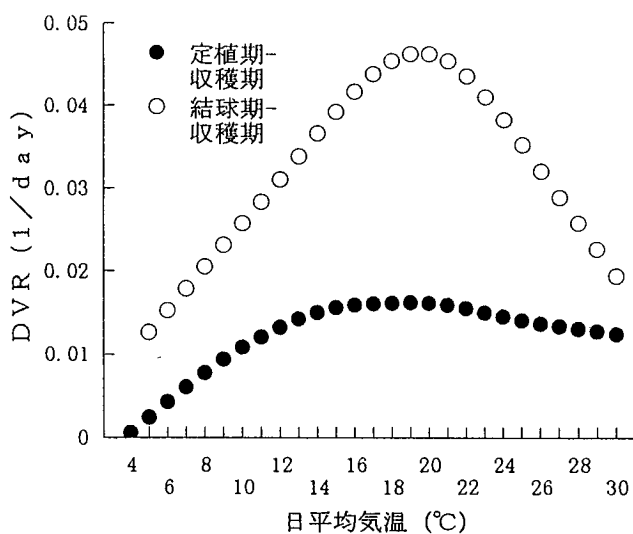


図2 日平均気温に対するDVR推定値

他作物のDVR（T）は、トウモロコシではシグモイド型、コムギでは18°Cまでは上昇するが、それ以上では次第に低下する型を、イネではほぼ直線状に上昇する型を示す<sup>6)</sup>。これらは、それぞれの作物について、経験的に知られていた生育パターンとはほぼ適合する。また、これらの作物のDVRは、いずれも低温域で小さく、温度上昇に伴って大きくなるパターンを示し、頭打ちにはなるが、高温域で再び小さくなることはない。そのため、積算温度法や関数モデルを用いて生育速度を予測しても、大きな矛盾は生じなかったと考えられる。

しかし、キャベツのように最適温度帯があり、その前後で生育速度が低下する特徴がある作物では、特定の関数モデルへのあてはめは困難であり、ノンパラメトリック法の利用が最適と考えられる。

予測精度の評価や実用性は、作期間の変動に対し、予測誤差の変動がどの程度か<sup>5)</sup>で判断される。当試験で推定したDVR（T）での予測日数と実日数の差（予測誤差）の標準偏差は、定植期~収穫期では2.9日

で実日数の5.3日より小さかった。また、結球期～収穫期では1.7日で、実日数4.9日より小さく、さらに定植期からの予測より誤差が少なかった（表2、図3）。このことから、DVR（T）を用いた収穫期予測は、実用性が高いと言える。

表2 収穫期までの実日数と、予測誤差の標準偏差（日）の比較

項目	定植期～ 収穫期	結球期～ 収穫期
実日数の平均	66.4	24.1
実日数の標準偏差	5.3	4.9
予測誤差の標準偏差	2.9	1.7

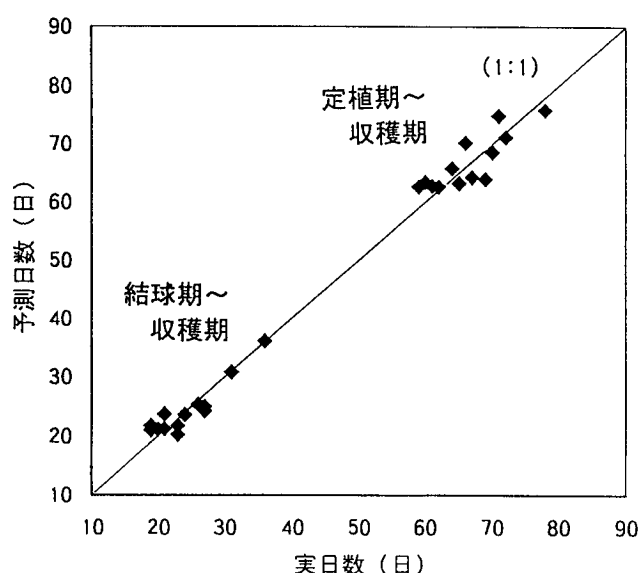


図3 実日数と予測日数の関係

現場では、早い作型では生育促進のため不織布のべたがけを行っている。この場合は、べたがけ内の温度を測定していない限り、定植期～収穫期のDVR（T）は利用できない。また、収穫期の予測精度は定植期より結球期からの方が高い。そのため、より正確な収穫期の予測には、生育中に結球期を調査し、結球期～収穫期のDVR（T）を用いるのが実用的である。

DVR（T）は、目標収穫期に対する定植適期の選定や、作業計画の作成にも利用できる。これはDVIは0から1までの連続変数であるが、1から0までの連続変数と見ることでもできるからである。よって、(1)式を逆算することで、想定した収穫期から結球期や定植期を予測することも可能である。

### 3. 要約

- キャベツの収穫期は、生育日数や積算気温を目安に予測すると誤差を生じやすいため、‘YR青春二号’を用い、実用的な予測法について検討した。

- キャベツの生育速度には適温があり、それより低温、高温両方で低下する。それらを評価できる手法としてノンパラメトリックDVR（Developmental Rate、生育速度）法を用い、日平均気温に対する生育速度を推定した。

- 1997、1998年に計14作期栽培し、定植期（3.5葉）、結球期（結球部がテニスボール程度）、収穫期（結球最外葉の葉縁のめくれ、結球表面の光沢、球のしまりから判断）のデータを得た。それと両年の日平均気温データから、DVR（T）を推定した。推定には、ノンパラメトリックDVR推定プログラムNONPARA（金野・竹澤ら1989）を用いた。

- 推定したDVR（T）は、キャベツの生育適温とされる温度帯で高く、その前後では低く、生育特性を適正に反映した値となった。

- DVR（T）による予測日数と、実日数の差（予測誤差）の標準偏差は、定植期～収穫期では2.9日で、実日数の5.3日より小さく、結球期～収穫期では1.7日で、実日数4.9日より小さかった。よって、当手法による収穫期予測は、実用性が高いと判断した。

- 現場で収穫期を予測する場合は、結球期を調査し、そこから予測すると精度が高く、より実用的である。

- 定植期～収穫期のDVR（T）を用いることで、目標収穫期に対する定植適期が推定でき、作付計画にも利用できる。

### 4. 普及上の注意

- 当試験での定植時の苗齢は3.5葉である。それより大苗で定植する場合は、育苗期の苗齢3.5枚をスタートとする。

- 定植後、べたがけ被覆などで保温する場合は、べたがけ内の気温を測定する必要がある。

- 収穫期は、5割収穫の時期としてあるため、収穫始期は当手法で予測した時期より早いことに注意する。

- この手法は降水量の影響を評価しないため、収穫期直前の降雨により、裂球の恐れがある場合は、収穫開始を早める必要がある。

### 引用文献

1) 芦澤正和 1985. 野菜園芸大辞典（キャベツ－生

- 育と温度) 訂正追補第3版. 1163-1164 P, 養賢堂, 東京.
- 2) 堀江武・中川博視・吉良智彦 1986. イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究, (1)発育動態の気象的予測モデルについて. 日作紀 55 (別1), 214-215.
  - 3) 武田 悟 1998. ノンパラメトリックDVR法によるキャベツの収穫期予測. 1998年度日本農業気象学会講演要旨, 144-145.
  - 4) Takezawa, Tamura 1991. Use of smoothing splines to estimate rate of development. Agric. For Meteorol 57, 129-145.
  - 5) 田村良文 1989. 発育ステージの予測モデルとその実用化(1). 農業技術 44(9), 397-400.
  - 6) 田村良文・清野 広 1989. 発育ステージの予測モデルとその実用化(2). 農業技術 44(10), 454-457.
  - 7) 米村 健・大原源二 1996. キャベツの気温-DVR曲線による生育相の分割. 1996年度日本農業気象学会講演要旨. 202-203.
  - 8) 吉本真由美・原藺芳信 1993. メッシュデータによるダイコンの簡易被覆栽培適地の判定. 農業気象 49(2), 99-104.