

## 気温・地温を用いたリンゴの開花日予測方法の検証 Inspection of Methods for Predicting Apple bloom date by using Field data

○加藤 幸<sup>1</sup> 千葉 克己<sup>2</sup>  
KATO Koh CHIBA Katsumi

### 1.はじめに

全国最大のリンゴ産地である青森県は有数の豪雪地帯でもある。リンゴの収穫量は、積雪が消え始める晩冬期の剪定作業から遅霜の被害を受けやすい初春の開花に至る時期の園地管理に大きく影響される。開花は、本来は果樹など植物の生理現象であるが、園地から得られる情報をもとに開花日が的確に予測できれば、生産者は春先の農作業を計画的に進めることが可能となり生産現場に大きなメリットをもたらす。

本報告では、過去10年間(2012年～2021年)の青森県内のリンゴ園地の気温、地温の計測結果および青森県が公表している開花日データから、既存の開花日予測モデルの精度検証と予測モデルの課題や実用的な活用方法について検討した結果を報告する。

### 2.研究目的と研究方法

(1) 調査対象と方法：青森県北津軽郡鶴田町の園地(40.8°N, 140.3°E)を調査対象とした(Fig.1)。園地土壌は約70cm深まで一層の褐色黒ボク土(2.5Y2/1)で、土性がCL、乾燥密度 $\rho_d=0.49\sim0.59\text{ g cm}^{-3}$ 、土粒子密度 $\rho_s=2.14\sim2.27\text{ g cm}^{-3}$ 、飽和透水係数 $k=1.05\times10^{-4}\sim3.27\times10^{-3}\text{ cm s}^{-1}$ であった。計測は、園内に設置した気象センサ(ATMOS14)と地表面から4,8,16,32,64cm深に設置した土壌センサ(5TE)で1時間毎に行った。

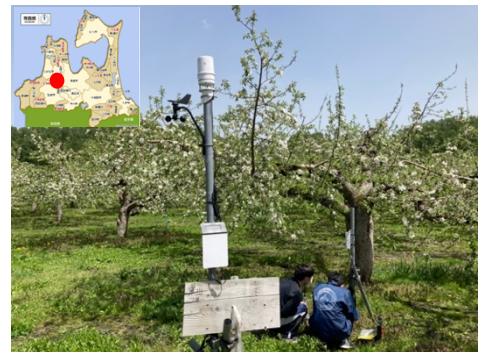


Fig.1 調査園地の位置と様子  
Investigated Site.

(2) 開花日の定義：青森県産業技術センターりんご研究所では、開花を「1～2花開花したとき」と定義し開花予測情報を提供している。しかし、一般の園地では標準木が不明確な場合が多いほか、園地内でのバラツキもある。そのため、実際の開花の判定は生産者の経験則に依存している面が大きい。本報告では「園地内のバラツキはあるが、開花予測と同じ傾向」とする園主の指摘をふまえ、りんご研究所の開花予測を開花の指標とする。

(3) 検証対象とする開花日予測モデル

a) 積算温量モデル(野呂ら1986)：発芽日からの気温の有効温量の積算値が基準を超えた時に開花するとしている。青森県の代表的な品種である「ふじ」の開花条件は、 $\Sigma(\text{気温}-3.75)\geq 197.1^\circ\text{C}$ となる。青森県が生産者向け開花予報は、このモデルにもとづき提供されている。

b) 地温を使ったモデル：鎌田(1992)は厳冬期(1,2月)の深部地温と開花日の相関を指摘している。このほか、佐藤ら(2011)は地温と開花日の観察結果をもとに「リンゴの樹体から約1mの箇所の64cm深の地温が約 $10^\circ\text{C}$ に到達する日が開花日になる」としている。

### 3.結果と考察

2012～2021年の過去10年間の園地データをもとに各モデルの予測精度を検証する。

a) 積算温量モデル

モデルから求めた予測開花日と実際の開花日と比較すると、「ふじ」の場合、予測開花日が実測開花日より平均で2.9日遅かった。両者の関係(DOY)をFig.2(△印)に示す。相関係数0.96、決定係数0.92と強い相関が得られており、このモデルにより調査園地で高精度の開花予測が可能であることを示している。一方で、このモデルは発芽日を積算温量の起算日としているため、目視による発芽の判断が予測

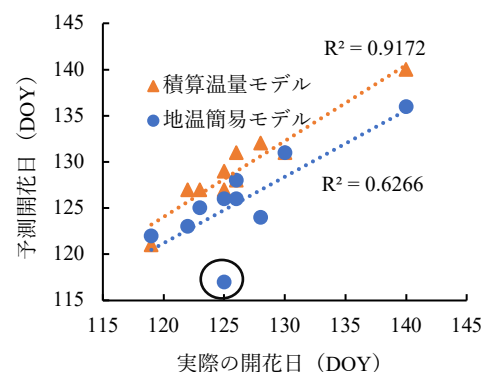


Fig.2 予測開花日と実開花日(ふじ)  
Predicted blooming and Actual blooming of Fuji.

1.弘前大学農学生命科学部(Faculty of Agriculture and Life science, Hirosaki University), 2.宮城大学事業構想学群(School of Project Design, Miyagi University) キーワード：IT, 農地環境, 土壌

精度に影響する。そのため、生産者の経験や熟練度が強く関連する点に留意する必要がある。

#### b) 地温を使った開花予測モデル

鎌田 (1992) は厳冬期 (1,2月) の月平均地温 (1m 深) と開花日の相関を指摘している。測定深さの違いの影響も考えられるが、Fig.3 のように対象園地の 64cm 深地温と開花日の間には指摘のような相関性は見いだせなかった。

佐藤ら (2011) の「地温簡易モデル」は「64cm 深の地温が 10°C に達した時に開花する」という簡潔な指標のため、長尺の棒状温度計などを利用することで園内の樹体ごとの開花予測に対応できる利点がある。このモデルの指標から求めた予測開花日 (DOY) と実際の開花日の関係 (ふじの場合) を Fig.1 (●印) に示した。予測開花日は実測開花日より平均で 0.6 日早い程度の差で、相関係数 0.79, 決定係数 0.62 と一定の相関性が得られている。

一方で図中の○印のように予測開花日が実開花日に対し 8 日のズレを生じる大きな外れ年が存在する。さらに、開花指標地温の 10°C の根拠が園地の観察結果を基準としているため統計的に曖昧な部分について検証が必要である。

#### c) 地温簡易モデルの検証と改良

Table 1 に過去 10 年間の主要 4 品種の開花日と開花日における調査園地の日平均地温 (64cm) を示した。各品種とも平均開花地温は佐藤らの指摘のように概ね 10°C である。一方で年毎のバラツキも存在し一定の幅をもった指標を追加する必要がある。そこで、過去 10 年間の開花データをもとに、指標となる地温の 95% 信頼区間をもとめると、「ふじ」で 9.7~10.5°C, 「つがる」で 9.8~10.4°C, 「ジョナゴールド」で 9.5~10.1°C, 「王林」で 9.4~10.0°C となる。

さらに、開花期の地温は Fig.4 のように 8, 32cm 深では気温の影響を受け日ごとの変動幅が大きいものの、64cm 深の深部地温は、融雪期以降、ほぼ一定の割合で増加する。2021 年の開花期の 64cm 深地温は、1 日あたり約 0.11°C の割合で増加しており早い段階で、その後の上昇傾向の予測を比較的容易に行うことができる。例えば、2021/4/1 時点の 64cm 深地温 6.7°C をもとに開花地温が 95% 信頼区間に達する日を概算すると、「ふじ」で 5/5±4 日 (実際の開花日 5/3), 「つがる」で 5/4±3 日 (実際の開花日 5/4), 「ジョナゴールド」で 5/2±3 日 (実際の開花日 5/1), 「王林」5/1±3 日 (実際の開花日 4/28) と概ね妥当な開花日予測が可能となる。

#### 4.おわりに

リンゴの開花日予測に関して、積算温量モデルが高い予測精度が期待できる。さらに、地温簡易モデルを組み合わせることで、園地内のバラツキを考慮した開花日予測が早い段階で期待できる。今後も生産現場で使いやすい開花日予測について検討を続ける予定である。

謝辞：本研究を進めるにあたりご協力頂いた、調査園地の園主：工藤浩さんには、この場を借りて謝意を表す。

参考文献：1) 野呂ら (1986)：発芽後の有効積算温量によるリンゴの開花日の予測，園学雑，54(4)，405-415. 2) 鎌田晶吉 (1992)：リンゴの開花日に及ぼす気象要因の影響園学雑，61(1)，17-24. 3) 佐藤ら (2011)：園地モニタリングデータを利用したリンゴ開花日予測手法の考案，NN 学会大会要旨

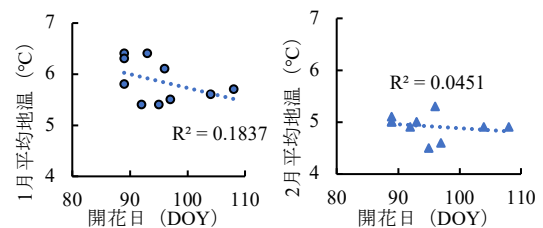


Fig.3 開花日と 1, 2 月の深部地温 (64cm)  
Blooming and Soil temp (64cm) in Jan. and Feb.

Table 1 過去 10 年の開花日と 64cm 深地温  
Blooming dates and Soil Temperature in 2012-2021.

	ふじ	つがる	ジョナ ゴールド	王林
2012	5/9 (9.7)	5/9 (9.7)	5/9 (9.7)	5/8 (9.5)
2013	5/20(10.7)	5/20(10.7)	5/19(10.5)	5/18(10.4)
2014	5/6 (9.8)	5/5 (9.6)	5/5 (9.6)	5/3 (9.2)
2015	4/29(9.3)	4/29(9.3)	4/28(9.0)	4/27(9.0)
2016	5/4 (9.7)	5/4 (9.7)	5/3 (9.6)	5/3 (9.6)
2017	5/6(10.0)	5/5 (9.8)	5/5 (9.8)	5/4 (9.6)
2018	5/2 (9.8)	5/2 (9.8)	5/1 (9.5)	5/1 (9.5)
2019	5/5(10.9)	5/5(10.9)	5/5(10.9)	5/4(10.8)
2020	5/7(11.2)	5/5(10.6)	5/4(10.2)	5/3 (9.9)
2021	5/3 (9.8)	5/4 (9.9)	5/1 (9.6)	4/28(9.4)
開花 地温	10.1°C	10.0°C	9.8°C	9.7°C
標準 偏差	0.59	0.51	0.52	0.52
信頼 区間	10.1 ± 0.37	10.1 ± 0.32	9.8 ± 0.32	9.7 ± 0.32

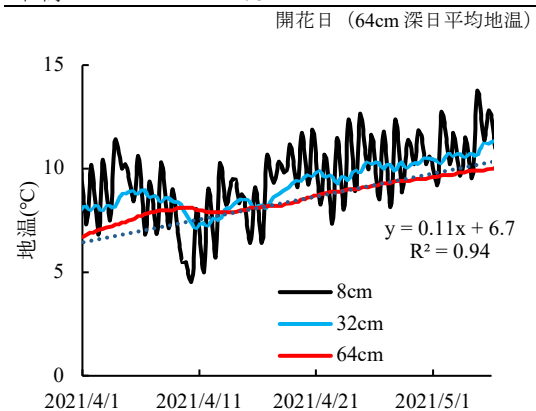


Fig.4 開花期の地温変化 (2021)  
Soil temperature on Blooming stage (2021).