長野県でのリンゴ凍霜害リスクの将来変化の解析
～休眠打破時期の遅れに関する評価～

気象庁 大気海洋部 気候情報課　瀬﨑歩美、原田昌、池田友紀子
長野県環境保全研究所　浜田崇

目次

- はじめに
- リンゴの凍霜害リスク将来変化の評価方法
- 利用データ
- 解析結果
- まとめ

はじめに

【近年の果樹の晩霜害の発生】

◆ 農林水産省（2014）

2013年4月中旬～5月上旬：降霜を伴う低温による凍霜害

- 栃木県や長野県等で開花時期にあったなし等の果樹が凍霜害を受け、69億円の被害額に

◆ 果樹研究所（2016）

2010年、2013年：果樹の晩霜害が発生

･･･春の気温が高めで経過、春に季節外れの寒気が流入

表2-4-6 自然災害による農業関係の被害額（平成25(2013)年度）

（単位：億円）

	農業関係	農作物等	農地・農業用施設関係
4月以降の低温(主に霜)	69	69	-
梅雨時期における大雨等(6月～8月)	521	125	396
台風第18号(9月)	390	75	316
11月からの大雪	1,457	1,456	1
その他	229	41	188
計	2,666	1,765	901

資料：農林水産省調べ

注：1) 平成26(2014)年4月14日現在。

2) 被害額は、各都道府県からの報告を取りまとめたもの。

農林水産省（2014）より

温暖化が進んでも、果樹の発育が進んだ状態で
急な寒気にさらされれば、凍霜害が発生する可能性

→ 気候変動適応策が必要

<u>目的：温暖化予測情報の利活用促進のため、自治体の適応策に資する活用事例を創出</u>

- 地方公共団体の気候変動適応の支援に関する取組の一環として、長野県環境保全研究所（信州気候変動適応センター）と協働
- 気象庁「地球温暖化予測情報第９巻」データセットを用いた<u>リンゴ凍霜害リスクの将来変化の評価事例の創出</u>、および<u>適応策策定における本予測データセットの活用可能性の検討</u>を進めている

はじめに

温暖化で影響を受ける果樹の生育ポイント

芽の休眠ステージ

杉浦ほか(2012）より

果樹の生育には以下が必要
①自発休眠時、低温要求を満たすこと
　→ 自発休眠覚醒（他発休眠に移行）
②休眠打破後、十分に加温されること
　→　発芽

この２段階を経て発芽→開花に至る

気温などの環境条件が生育に適していようがいまいが、芽が動かない状態

気温が低いことにより生長が停止させられている状態

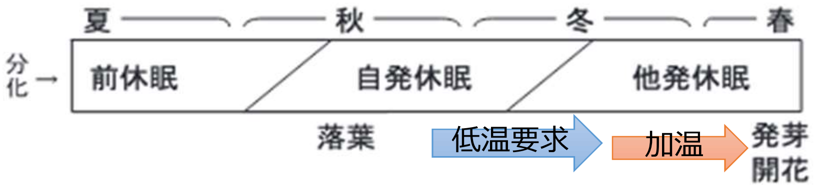


図１　芽の休眠ステージ.

リンゴの凍霜害リスク

晩霜害
春の発芽期から開花・結実期に発生する遅霜による被害

生育ステージ別の凍霜害を受けるおそれがある温度

（表3）りんご「ふじ」

発育ステージ	発芽期	展葉初期	花蕾露出期	花蕾着色（赤色）期	～ 開花直前	開花始期	満開期	落花期	幼果期
安全限界温度(℃)	-2.1	-2.1	-2.1	-2.0	—	-1.5	-1.5	-1.7	—

発芽期 3月28日　→　開花始期 4月26日　→　満開期 5月1日

※平年値

※「安全限界温度」は、植物体（花芽）の温度がこの指標以下に１時間おかれた場合、わずかでも花芽が障害を受けるおそれがある温度を示している。気温ではなく植物体の温度。

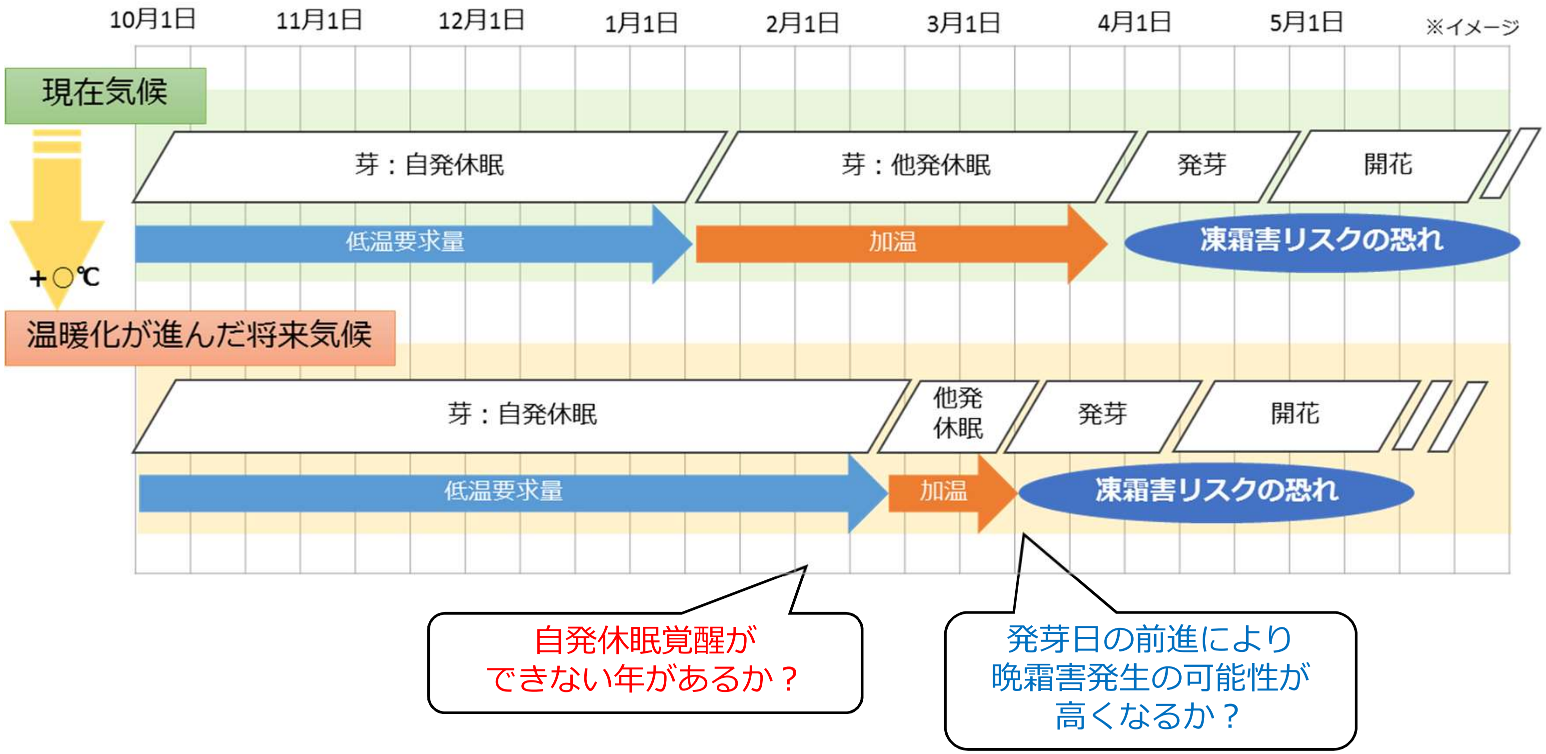
福島県　農業技術情報　特別情報（令和3年3月15日）作物別凍霜害及びひょう害技術対策に一部加筆
（https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/435081.pdf）

はじめに

<u>温暖化傾向に伴う果樹生育における変化</u>　　安達ほか（2018）より

- <u>近年の秋～春期の気温上昇</u>
  低温要求に対し抑制的に作用し、自発休眠覚醒の後進化をもたらす

- <u>覚醒後の気温上昇</u>
  発育速度に促進的に作用し、自発休眠覚醒の遅れを打ち消す



リンゴの凍霜害リスク将来変化の評価方法

- 現在気候、将来気候2シナリオ（RCP2.6、RCP8.5）のデータを用いて解析・評価を行う
- 解析地点は、低温要求を満たす日、発芽日の定例観測を行っている**長野県果樹試験**および、気温観測データのある**長野地上気象観測所**の2地点

評価項目

自発休眠覚醒ができない年があるか？

① 低温要求を満たす日（Day1）：

- 発芽には自発休眠から他発休眠に移行するための自発休眠覚醒が必要
- リンゴの場合、7.2℃以下の低温に10/1以降1400時間以上さらされることが必要（長野県果樹農業振興計画書(長野県)、2021）

→ 日最高気温・日最低気温から日低温時間を算出（清野ら(1981),和田ら(1972)）

② 発芽日（Day2）：

- 休眠打破以降の積算温度

→ 発芽日と3月の平均気温の関係から得た近似式 により算出（藤沢と小林、2007）

今回は現在気候と同じ期間における近似式を利用

発芽日の前進により晩霜害発生の可能性が高くなるか？

③ 凍霜害リスク日（Day3）：

- 発芽後、凍霜害に遭うリスクのある日

→ 最低気温が0/1/2℃以下の３通りの指標を用いる

利用データ

モデルデータ

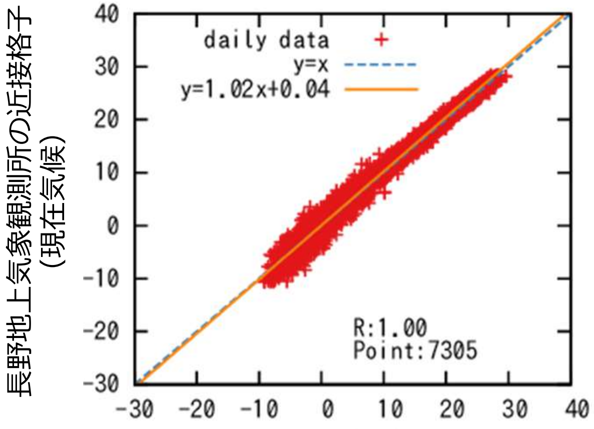
- 気象庁「地球温暖化予測情報第9巻」データセット
  - ✓ 期間　：現在気候（SPA; 1980～1999年）、将来気候（SFA; 2076～2095年）
  - ✓ メンバー数　：現在気候 1メンバー、将来気候 4メンバー
  - ✓ 将来気候シナリオ：RCP2.6、 RCP8.5

観測データ

- 気象庁地上気象観測データ（気温）
- 長野県果樹試験場の定例調査データ（低温遭遇積算時間、発芽日）

解析の一部で観測の気温データが必要な場合は、近隣の長野地上気象観測所の気温データを利用

日別平均気温（モデル値）



果樹試験場の近接格子
（現在気候）

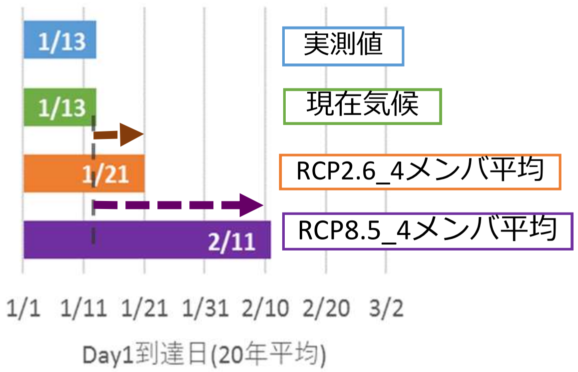
国土地理院　地理院タイルを加工して作成
（https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html）

低温要求を満たす日（Day1）：解析結果

果樹試験場

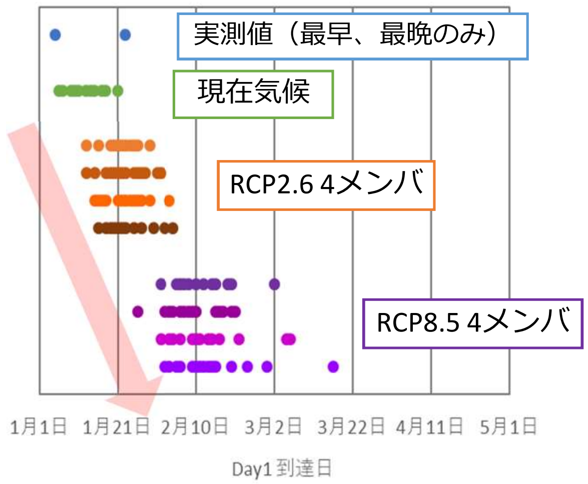
20年平均値

現在気候	1/13
RCP2.6 _c0	1/21（+8日）
_c1	1/21（+8日）
_c2	1/22（+9日）
_c3	1/23（+10日）
4メンバ平均	1/21（+8.7日）
RCP8.5 _c0	2/10（+28日）
_c1	2/9（+27日）
_c2	2/13（+31日）
_c3	2/13（+31日）
4メンバ平均	2/11（+29.2日）



- 4メンバ平均は、各メンバのDay1を単純に平均した値
- （）内は将来変化量（将来気候－現在気候）

年毎



- 現在気候：観測結果と大きくは変わらない（2001-2021年の平均：1月13日）

  → モデルデータでもDay1の観測結果を表現できることを示唆

- 将来気候：現在気候に比べ、RCP2.6で10日弱、RCP8.5で1ヶ月程度 後退

  Day1が3月以降になるメンバ・年も

  → 温暖化の進行が低温要求に対し抑制的に作用し自発休眠覚醒を遅らせる可能性

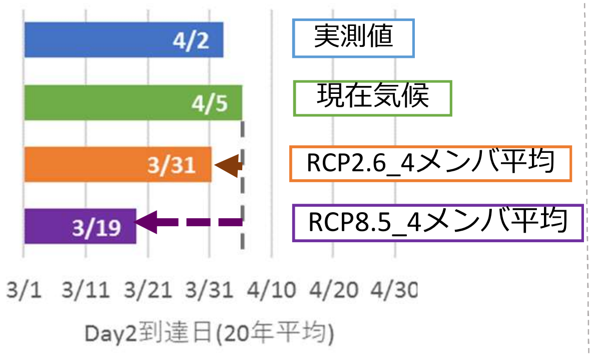
発芽日（Day2）：解析結果

果樹試験場

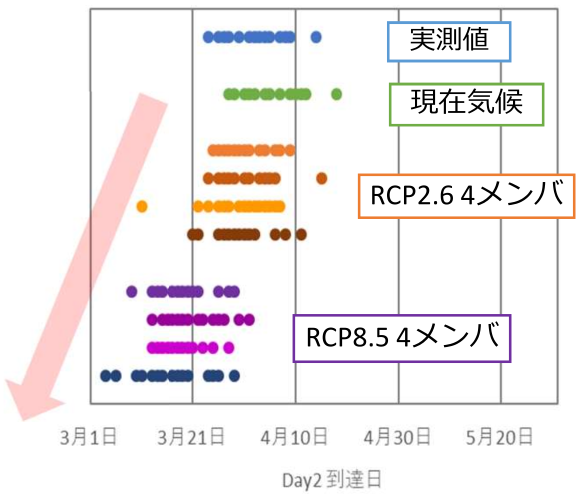
20年平均値

観測値（実測）	4/2
観測値（回帰式）	―
現在気候	4/5
RCP2.6 _c0	3/31 (-4日)
_c1	4/1 (-3日)
_c2	3/30 (-6日)
_c3	3/30 (-6日)
4メンバ平均	3/31 (-4.9日)
RCP8.5 _c0	3/18 (-18日)
_c1	3/22 (-14日)
_c2	3/19 (-17日)
_c3	3/17 (-19日)
4メンバ平均	3/19 (-17.1日)

- 4メンバ平均は、各メンバのDay2を単純に平均した値
- （）内は将来変化量（将来気候－現在気候）



年毎



果樹試験場 バイアス補正なし	実測値 (2001-2021年)	現在気候	RCP2.6 全4メンバ	RCP8.5 全4メンバ
20年 最早	1/5	1/6	1/13	1/26
20年 最晩	1/23	1/21	2/4	3/17
20年 標準偏差	―	3.87	4.71	8.59

- 現在気候：20年平年値は、果樹試験場の観測値（実測）と1,2日程度の差

  → （少なくとも現在気候では）本調査のDay2算出手法が有効であることを示唆

- 将来気候： 20年平年値は、現在気候に比べ、RCP2.6は5日程度、RCP8.5は20日弱 前進

  発芽日の最早は、RCP2.6で10日弱、RCP8.5で20日程度 前進

  → 自発休眠覚醒の遅れが打ち消され発芽日は前進する可能性

  ⇔ 凍霜害リスクにさらされる期間が長くなる？

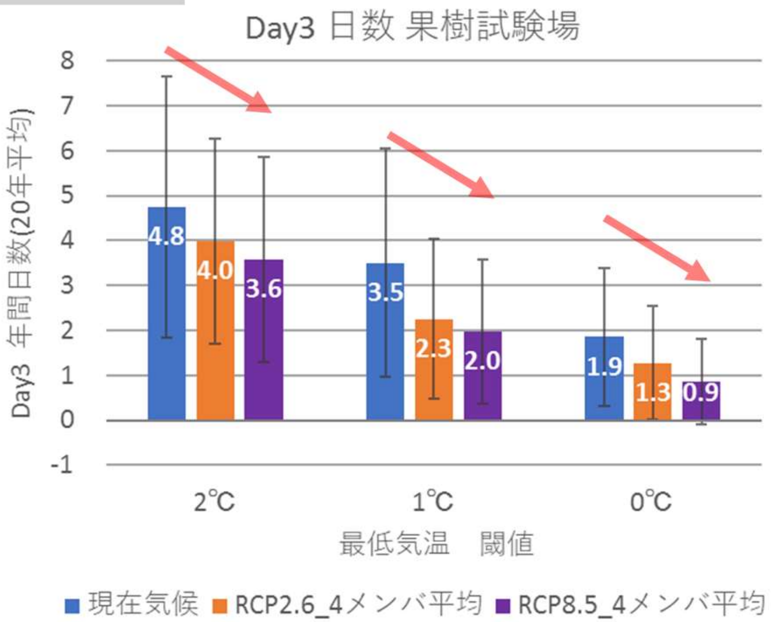
凍霜害リスク日（Day3）：解析結果

果樹試験場

年間日数の20年平均

凍霜害リスク日日数（Day3）20年平均　果樹試験場			
最低気温 閾値	2℃	1℃	0℃
現在気候	4.8 [2.91]	3.5 [2.54]	1.9 [1.53]
RCP2.6_4メンバ平均	4.0 [2.29]	2.3 [1.79]	1.3 [1.26]
RCP8.5_4メンバ平均	3.6 [2.28]	2.0 [1.60]	0.9 [0.95]

- 4メンバ平均は、各メンバのDay3を単純に平均した値
- [] 内は全4メンバの標準偏差



凍霜害リスク日（Day3）年間日数の20年平均

- 現在気候に比べ、将来気候では1～2日程度、Day3の年間日数は減少

→温暖化に伴い発芽日（Day2）以降のDay3年間日数は減少する

ただし一方で、凍霜害リスク日が無くなるわけではない

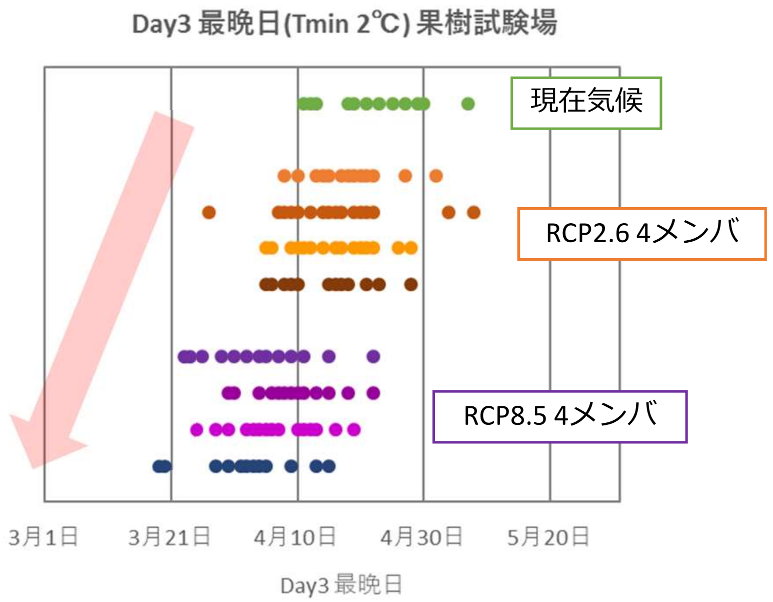
凍霜害リスク日（Day3）：解析結果

果樹試験場

20年最晩

凍霜害リスク日（Day3）20年最晩　果樹試験場			
最低気温 閾値	2℃	1℃	0℃
観測値		–	
現在気候	5/7	4/30	4/27
RCP2.6 _c0	5/2 (-5日)	4/22 (-8日)	4/14 (-13日)
_c1	5/8 (1日)	5/4 (4日)	4/19 (-8日)
_c2	4/28 (-9日)	4/28 (-2日)	4/15 (-12日)
_c3	4/28 (-9日)	4/28 (-2日)	4/15 (-12日)
RCP8.5 _c0	4/22 (-15日)	4/22 (-8日)	4/3 (-24日)
_c1	4/22 (-15日)	4/22 (-8日)	4/12 (-15日)
_c2	4/19 (-18日)	4/12 (-18日)	4/6 (-21日)
_c3	4/15 (-22日)	4/13 (-17日)	4/5 (-22日)

※（）内は将来変化量（将来気候－現在気候）



凍霜害リスク日（Day3）の20年最晩

- 現在気候に比べ、将来気候ではRCP2.6で最大15日弱、RCP8.5で最大25日弱 前進する
- 現在気候と比べた将来気候の発芽日（Day2）の最早の前進程度（RCP2.6:10日弱、RCP8.5:20日程度）に比べると、Day2の前進よりもDay3はさらに+5日程度前進。

→　凍霜害リスク期間は現在気候に比べ将来気候では同程度～短くなる可能性がある

まとめ

地方公共団体の気候変動適応の支援に関する取組の一環：

長野県環境保全研究所（信州気候変動適応センター）と協働し、気象庁「地球温暖化予測情報第９巻」データセットを用いたリンゴ凍霜害リスクの将来変化を評価

① 低温要求を満たす日（Day1）：
- 現在気候に比べ、将来気候ではDay1が後退（RCP2.6:+10日弱、RCP8.5:+1ヶ月弱）

→温暖化の進行が低温要求に対し抑制的に作用し自発休眠覚醒を遅らせる可能性

② 発芽日（Day2）：
- 現在気候に比べ、将来気候ではDay2の20年平均は前進（RCP2.6:-5日程度、RCP8.5:-20日弱）
- 現在気候に比べ、将来気候ではDay2の最早は前進（RCP2.6:-10日弱、RCP8.5:-20日程度）

→自発休眠覚醒の遅れが打ち消される　･･･凍霜害リスクにさらされる期間が長くなる？

③ 凍霜害リスク日（Day3）：
- 現在気候に比べ、将来気候ではDay3の年間日数は減少（-1～2日程度）

　→温暖化に伴い、発芽日（Day2）以降の凍霜害リスク日（Day3）日数は減少するが、
　　一方で凍霜害リスク日が無くなるわけではない
- 現在気候に比べ、 将来気候ではDay3の最晩は前進（RCP2.6:～-15日弱、RCP8.5:～-25日弱）

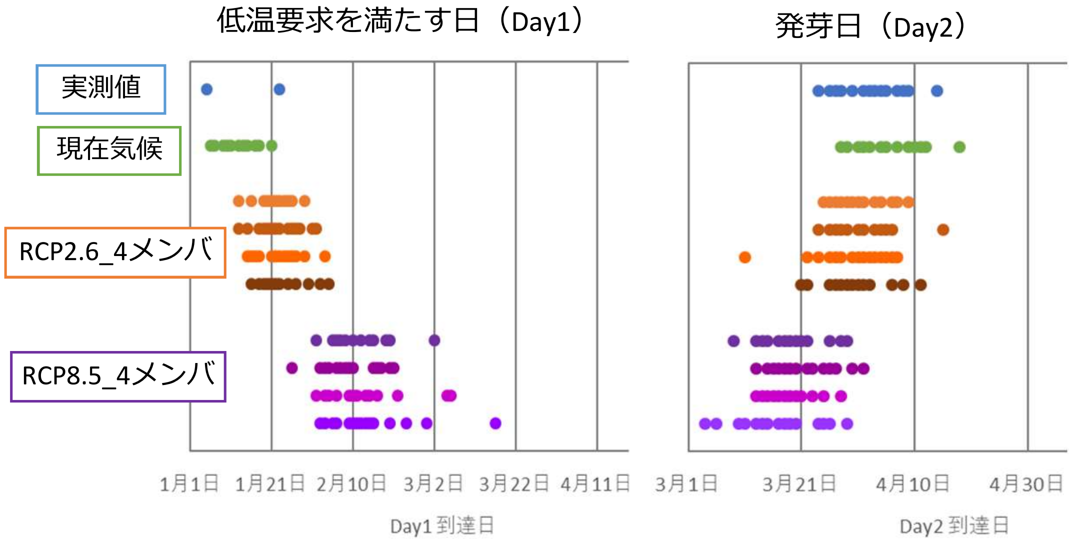
　→現在気候と比べた将来気候の発芽日（Day2）の最早の前進程度と比べると、
　　凍霜害リスク期間は現在気候に比べ将来気候では同程度、あるいは短くなる可能性

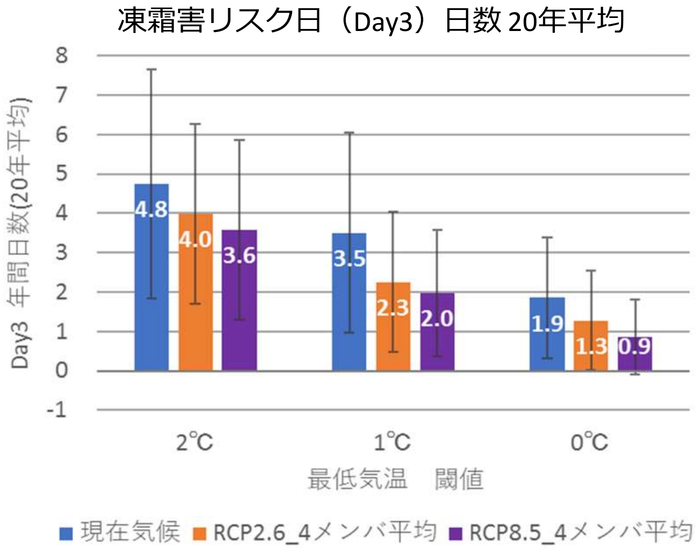
まとめ

果樹試験場

		10月～2月 最低気温	低温要求量を満たす日 （Day1）	３月 平均気温	発芽日（Day2）	凍霜害リスク日（Day3）年間日数		
						2℃以下	1℃以下	0℃以下
現在気候		-0.3℃	1月13日	2.9℃	4月5日	4.8日	3.5日	1.9日
将来気候	RCP2.6 4メンバ 平均	1.5℃ (+1.9)	1月21日 (+8.7)	4.3℃ (+1.3)	3月31日 (-4.9)	4.0日 (-0.8)	2.3日 (-1.2)	1.3日 (-0.6)
	RCP8.5 4メンバ 平均	5.1℃ (+5.5)	2月11日 (+29.2)	7.6℃ (+4.6)	3月19日 (-17.1)	3.6日 (-1.2)	2.0日 (-1.5)	0.9日 (-1.0)

- 現在気候は1980-1999年、将来気候は2076-2095年の20年平均値
- ()内の数値は将来変化量（将来気候－現在気候）





参考文献等

参考文献

- 農林水産省, 2014:平成25年度 食料・農業・農村白書（平成26年5月27日公表）
- 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構　果樹研究所, 2016:気候温暖化条件での晩霜害発生の特徴と危険度評価
- 安達義輝・志村浩雄・額田光彦・斉藤祐一・桑名　篤・安部　充, 2018: 温暖化傾向における果樹の発育速度（DVR）モデルの検証. 福島県農業総合センター研究報告 9, 11-22.
- 杉浦 俊彦・杉浦 裕義・阪本 大輔・朝倉 利員, 2012: 果樹の生育変化と異常.地球環境, 17(1), 75-81.
- 長野県, 2021: 長野県果樹農業振興計画書（令和3年3月策定）
- 藤沢茉莉子・小林和彦, 2007: 日本におけるリンゴの発育早期化に見られる温暖化の影響. 農業気象 63, 185-191.
- 和田道宏・村上利男, 1972: 気温の日変化に関する研究階層別気温出現時間の算出方法. 東北の農業気象, 17, 34–36.
- 清野　豁・木村　悟・岸田恭允, 1981: 最低・最高気温による低温時間・高温時間の推定. 農業気象, 37, 123–126.

気象庁関連の気候変動・温暖化に関するホームページ

- 気象庁｜地球温暖化情報ポータルサイト：https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/index_temp.html
- 気象庁｜日本の気候変動2020（文部科学省, 気象庁, 2020）：https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html
- DIASデータ俯瞰・検索システム｜気象庁地球温暖化予測情報第9巻：http://search.diasjp.net/ja/dataset/JMA_GWP9