

温暖化が果樹生産に及ぼす影響評価と適応技術の開発

杉浦俊彦

農研機構果樹研究所 (現 農研機構果樹茶業研究部門)

Impact assessment of global warming on Japan's fruit tree production and the development of adaptive technologies

Toshihiko SUGIURA

National Institute of Fruit Tree Science, National Agriculture and Food Research Organization

1. はじめに

伝統ある日本農業気象学会普及賞を賜り、たいへん光栄に存じます。ご推薦くださいました鮫島良次博士、小林和彦博士、ならびに受賞を支持していただいた審査委員の先生方に厚くお礼申し上げます。

私が高校生だった1980年ごろは、温暖化よりもむしろ地球寒冷化による食糧危機が世間の話題に上がっており、これが農学部への進学を志す切っ掛けにもなりました。実際、京都大学1回生の冬は連日の雪(昭和59年豪雪)に閉口したことを記憶しています。大学では3、4回生の2年間ご指導いただいた堀江武教授から、水稻の生長解析・生育予測と、生産現場に還元する研究の醍醐味をご教授いただき、これらはその後ずっと自分の研究の礎となっています。

2. 果樹の生育予測と温暖化適応技術の開発

農林水産省に就職して最初に配属された果樹試験場気象研究室(現在の農研機構果樹茶業研究部門園地環境ユニット)は、果樹分野における農業気象学の専門家を有する全国で唯一の研究室です。この分野の研究者は極めて少ない上に、カンキツ、リンゴ、ナシなど多くの樹種があるため、現場から求められている研究テーマは、当時もそして現在でもいくつでもあります。ある生産者から「土の問題は肥料で、病気や虫は薬で何とかできるが、お天気だけはどうにもならない」と言われたことを覚えています。

当初からライフワークとして取り組んでいるのが、学生時代に学んだことを生かした果樹の発育・生長モデルや生育予測技術の開発です。これは農業気象学会において、水稻を始めとして大豆(鮫島・岩切, 1987)やサクラ(青野・小元, 1990)などで精力的に進められていたテーマで、果樹(小野ら, 1988)でも研究が始められていました。

慣れない果樹の栽培実験を周りの方に支えられながら圃場や人工気象室で繰り返し行い、発育・生長モデルを活用した果樹の開花期(杉浦ら, 1991; Sugiura and Honjo, 1997)、収穫期(杉浦ら, 1995)、果実肥大(杉浦ら, 1993)の予測技術を確認しました。これらは、いくつかの県のWebで予測結果が公表されており、また普及センター等で利用されることにより病害虫防除や、出荷計画を立

てる上で有用な技術として、生産者に活用されています。1993年には奨励賞をいただき、大きな自信になりました。このころは、温暖化のことは全く視野にありませんでしたが、気候変動は過去の経験の活用を難しくしているため、こうした生育予測技術は温暖化適応技術として重要性が増していると感じています。

一方、1990年代は果樹の施設生産が大きく発展した時代で、適度な加温時期を決定するため、気温の経過から自発休眠覚醒期を推定する技術(杉浦・本條, 1997; Sugiura et al., 2002; 杉浦ら, 2003; Sugiura et al., 2006; 杉浦ら, 2010)の開発や、その基礎となる休眠生理の研究(Sugiura et al., 1995)を行っていました。近年は、秋冬季の気温上昇を背景に、自発休眠覚醒阻害等に起因するニホンナシ、ブドウ、モモ等の発芽不良が多発しており、温暖化による大きな問題のひとつとなっています。私たちは、その適応技術として、人工的な休眠打破技術(Honjo et al., 2005; Kuroda et al., 2005)、簡易な自発休眠覚醒推定法(Ito et al., 2013)など、さまざまな技術開発を進めているところです。

3. 将来の温暖化影響評価

私が果樹の生育予測の研究を行っていた1990年代には、IPCC第1次評価報告書(1990)が公表され、農業気象学会でも内嶋善兵衛博士、清野豁博士らにより、作物の影響評価研究が行われ、気候シナリオを用いたシミュレーションにより、水稻を中心とした穀物生産の将来予測が行われていました(Horie, 1993; 清野, 1995; 内嶋, 1996)。一方、果樹は気象の影響を極めて受けやすい作物で、どこでも栽培できるというわけにはいかず、適地が明確な作物です。そのため果樹試験場内でも、将来を危惧する声はありましたが、穀物のような本格的なシミュレーション研究までは行われていませんでした。

2000年代になると農業環境技術研究所によって日本の将来のメッシュ気候値が整備され(Yokozawa, 2003; Okada et al., 2009)、将来影響評価は著しく容易になりました。さっそく、このデータをお借りして半世紀後の適地判定を行うと、ウンシュウミカン(図1)やリンゴといった基幹となる果樹において、現在の主産地の多くが、将来の生産が難しくなるという、産業上、極めて重大な結果が導かれました(杉浦ら, 2002; 杉浦・横沢, 2004; Sugiura et al., 2005)。

あまりのインパクトの大きさに産地からの反発が危惧されたこともあり、適地移動予測については、センセーショナルにならないようプレスリリースなどは控えて、恐る恐る

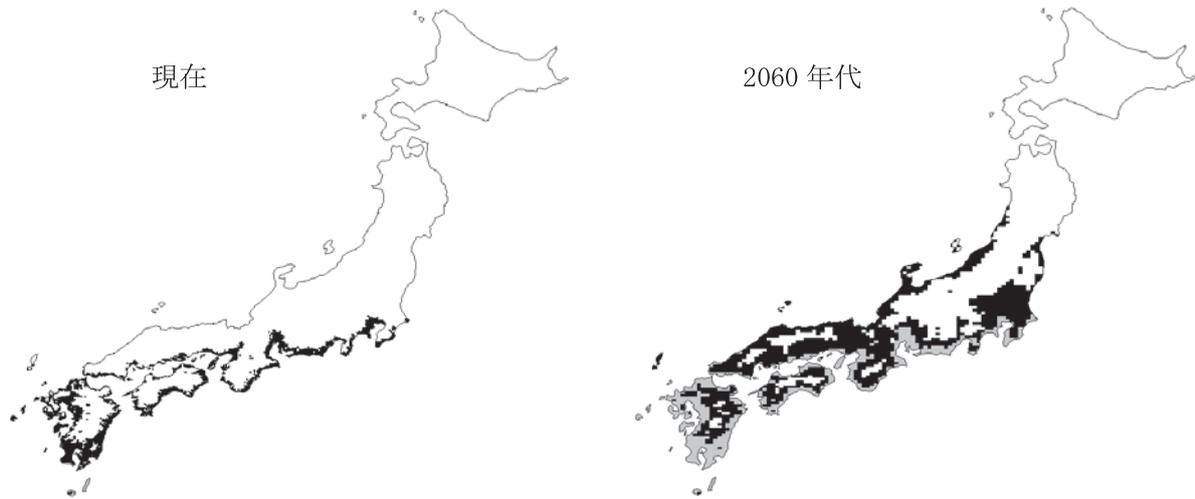


図1 現在（1971～2000年の平年値）と2060年代におけるウンシュウミカン栽培に適する地域の分布。黒色：適地。白色：より低温の地域。灰色：より高温の地域（杉浦・横沢，2004）。

る発表を行いました。ところが、当時刊行されていた広報誌「果樹研究所ニュース」に掲載された短文を切っ掛けにして、朝日新聞の1面で報道されことにより（2003年10月4日）、これを境に多くの果樹関係者にとって、温暖化の対応が免れられないものとの認識が広がりました。また、以降、テレビや新聞、書籍等でたびたび取り上げられ、遅ればせながら果樹も温暖化問題の国民への浸透に一役買うことになったと思っています。将来の適地移動推定は、近年では亜熱帯果樹導入に向けた研究などにも対象が広がっています（Sugiura *et al.*, 2014）。

4. すでに発生している温暖化影響の評価

果樹の適地移動予測に関する情報は広く普及することになりましたが、幸いにも当初危惧していた産地からの反発は、ほとんど無く、杞憂に終わりました。このことや、普段から情報交換している産地の状況から、温暖化の影響は何十年も先の話ではなく、もっと身近なこととして、生産現場が捕らえ始めているのではないかと推察されました。そこで、温暖化の現在の影響について、2003年に全国の都道府県の果樹関係公設試験研究機関に対してアンケート調査をさせていただきました（杉浦ら，2007，2009；Sugiura *et al.*, 2012）。初めて温暖化の影響を調べる場合、個別の精緻な情報よりも、大雑把でも網羅的な情報が必要です。この調査は、すでに気温が上昇している事実を考慮し、現在発生している現象をアンケートで集約することで、温暖化の影響を概観し、樹種間のインパクトの差異などに関する知見の収集を目指しました。

その結果、全47都道府県で温暖化影響について事例が挙げられるなど、予想をはるかに超えるレスポンスがありました。また、同時に調査した、高温への対応事例も、多く収集できました。この結果より、温暖化影響は未来の問題というよりも、現在の問題となっていると確信を得られました。また、すでに発生している温暖化影響が、全国調査によって明らかにされたのは、農業以外の分野も含めて初めてのこともあり、プレスリリースを実施し、問題の現状と対応事例についての普及に努めました。

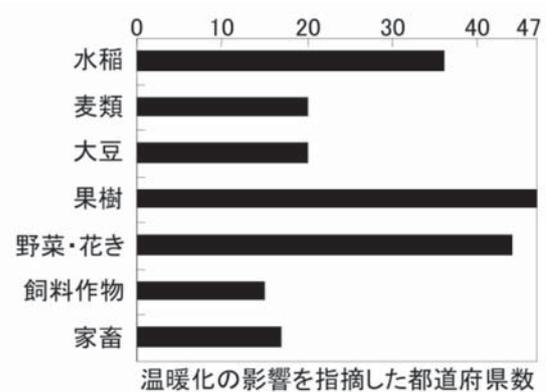


図2 すでに発生している温暖化の影響を指摘した都道府県数（Sugiura *et al.*, 2012）。

さて、遠い未来に起きるかもしれない問題なのか、現在の喫緊の問題なのかで、行政の姿勢は大きく異なります。そこで農研機構本部に異動した2005年には水稲、麦類、大豆、野菜、花き、畜産分野についても同様なアンケート調査を行い、実態を明らかにしました。2006年以降は、同様な全国調査が農林水産省によって継続的に実施されています。本調査は、温暖化対策研究が緩和策だけでなく、適応研究も重要であることを行政側に理解いただく契機のひとつとなったと思われます。この調査の報告（Sugiura *et al.*, 2012）は、IPCC第5次評価報告書でも引用されました（図2）。

5. 温暖化影響の証拠の提示

上記研究はアンケート調査の結果であり、学術的に必ずしも十分とはいえない部分もあるため、温暖化の影響が本当に顕在化しているかどうかについては、より客観性の高い証拠を示す必要があります。科学的な温暖化影響の証拠を示すには、統計データの解析が必要になりますが、IPCC報告でも、第4次評価報告書（2007）ではまだ、温暖化が人間社会にすでに影響を及ぼしていることの科学的な証拠は必ずしも多くは示されていませんでした。

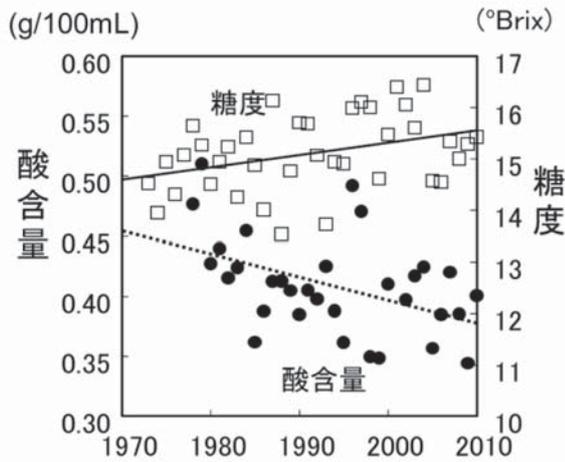


図3 リンゴ‘ふじ’における酸含量と糖度(長野県, 11月1日時点)の変化 (Sugiura et al., 2013).

特に果樹についてはフェノロジーの変化 (Fujisawa and Kobayashi, 2010) を除けば、温暖化影響に関する統計は表面的にはほとんどなかったのですが、2008～2009年に実施した温暖化の現在の影響を評価する農水省委託プロジェクトで、各県に蓄積されていた貴重な長期計測データが多数報告され、驚かされました。このうち、青森県および長野県の過去30～40年のリンゴの栽培記録は、果実糖度が上昇するとともに、酸含量が低下し、食味が改善しつつあることを示していました(図3)。こうした変化の最大の要因が長期的な気温上昇であることや、そのメカニズムをデータ解析で示すことができました (Sugiura et al., 2013)。これは農産物の品質が温暖化の影響で変化しつつあることを示した世界初の成果といえ、各国で広く報道されるなど、国際的なインパクトを与えることになりました。また、このことは日本の公立研究機関の長年の精緻な研究の蓄積が世界に類を見ない貴重なものであることを示すものであり、世界に通用するデータが、まだ全国に眠っていると考えられます。

統計調査は状況証拠の積み重ねに過ぎないため、動かぬ証拠を得るには、他の農学研究同様に、環境調節を伴う再現実験が必要な場合があります。果樹についても温度処理する実験は過去にも多数行われているので、文献を丹念に調査すれば十分なデータ得られるケースもありますが、必要となれば、やはり独自の再現実験を実施することになります。果樹研究所ではリンゴやブドウ、カキ、カンキツ等の着色不良、ニホンナシやモモの発芽・開花不良、リンゴの品質変化などの再現実験を実施しているところですが。将来的にはFACE実験(小林, 2001)も必要ですが、果樹分野では残念ながら実施の見通しは立っていません。

6. おわりに

前述したように、果樹の農業気象学分野を専門とする研究者は今も極めて限られており、その状況はむしろより深刻化しています。気象条件に大きく左右される果樹生産の現場において、農業気象学は研究、開発への期待が大変強く感じられる分野です。温暖化は今後、さらに進行すると予測されていますから、果樹に興味をもつ農業気象学者

が現れるよう大いに期待しています。

末筆となりますが、受賞対象は、1987年に果樹試験場気象研究室に配属されて以来、一貫して進めてきた果樹の気象生態的研究の中で、本條均博士を始め、多くの農業気象、果樹研究者の先輩、同僚に支えられて進めてきた研究であり、関係者に深謝申し上げます。また、常に共同研究、研究協力、情報提供など様々な形で一緒に仕事をしてきた全国の公立試験研究機関の研究者あるいは各地の普及センターの方々に御礼申し上げます。最後にこれまでの研究活動を支えてくれた家族に謝意を表したいと思います。

引用文献

- 青野靖之・小元敬男, 1990: チルユニットを用いた温度変換日数によるソメイヨシノの開花日の推定, 農業気象 **45**, 243-249.
- Fujisawa M, Kobayashi K, 2010: Apple (*Malus pumila* var. *domestica*) phenology is advancing due to rising air temperature in northern Japan. *Global Change Biology* **16**, 2651-2660.
- Honjo H, Fukui R, Sugiura T, 2005: Dormancy and flowering control for Japanese pear by micrometeorological modification. *Journal of Agricultural Meteorology* **60**(5), 805-808.
- Horie T, 1993: Predicting the effects of climatic variation and elevated CO₂ on rice yield in Japan. *Journal of Agricultural Meteorology* **48**, 567-574.
- Ito A, Sugiura T, Sakamoto D, Moriguchi T, 2013: Effects of dormancy progression and low-temperature response on changes in the sorbitol concentration in xylem sap of Japanese pear during winter season. *Tree Physiology* **33**, 398-408.
- 小林和彦, 2001: FACE (開放系大気CO₂増加) 実験, 日本作物学会紀事 **70**, 1-16.
- Kuroda H, Sugiura T, Sugiura H, 2005: Effect of hydrogen peroxide on breaking endodormancy in flower buds of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai). *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* **74**, 255-257.
- Okada M, Iizumi T, Nishimori M, Yokozawa M, 2009: Mesh climate change data of Japan ver. 2 for climate change impact assessments under IPCC SRES A1B and A2. *Journal of Agricultural Meteorology* **65**, 97-109.
- 小野祐幸・金野隆光・奥野隆・浅野聖子, 1988: 日本ナシの催芽・開花までの日数への温度の影響, 農業気象 **44**, 203-208.
- 鮫島良次・岩切敏, 1987: 気象とダイズ生育動態に関する研究(1) 開花までの期間における発育速度と日長・気温の関係, 農業気象 **42**, 375-380.
- 清野 豁, 1995: 気候温暖化が我が国の穀物生産に及ぼす影響, 農業気象 **51**, 131-138.
- Sugiura T, Honjo H, 1997: A dynamic model for predicting the flowering date developed using an endodormancy break model and a flower bud development model in Japanese pear. *Journal of Agricultural Meteorology* **52**, 897-900.
- 杉浦俊彦・本條均, 1997: ニホンナシの自発休眠覚醒と温度の関係解明およびそのモデル化, 農業気象 **53**, 285-290.
- 杉浦俊彦・横沢正幸, 2004: 年平均気温の変動から推定し

- たリンゴおよびウンシュウミカンの栽培環境に対する地球温暖化の影響, 園学雑 **73**, 72-78.
- 杉浦俊彦・本條 均・小野祐幸・朝倉利員・鴨田福也・佐久間文雄, 1993: ニホンナシの果実生長と日射量の関係のモデル化, 農業気象 **48**, 329-337.
- 杉浦俊彦・本條 均・菅谷 博, 1995: ニホンナシの果実生育と気温の関係について, 農業気象 **51**, 239-244.
- 杉浦俊彦・伊藤大雄・黒田治之・本條 均, 2003: ニホンナシ混合芽の自発休眠覚醒を抑制する温度条件について, 農業気象 **59**, 43-49.
- Sugiura T, Kuroda H, Ito D, Honjo H, 2002: Temperature dependence of endodormancy development in flower buds of 'Kousui' Japanese pear and a model for estimating the completion of endodormancy. *Acta Horticulturae* **587**, 345-351.
- 杉浦俊彦・黒田治之・杉浦裕義, 2007: 温暖化がわが国の果樹生産に及ぼしている影響の現状, 園芸学研究 **6**, 257-263.
- Sugiura T, Kuroda H, Sugiura H, Honjo H, 2005: Prediction of effects of global warming on apple production regions in Japan. *Phyton-Annales Rei Botanicae* **45**(4), 419-422.
- Sugiura T, Ogawa H, Fukuda N, Moriguchi T, 2013: Changes in the taste and textural attributes of apples in response to climate change. *Scientific Reports* **3**, 2418.
- 杉浦俊彦・小野祐幸・鴨田福也・朝倉利員・奥野 隆・浅野聖子, 1991: ニホンナシの自発休眠覚醒期から開花期までの発育速度モデルについて, 農業気象 **46**, 197-203.
- 杉浦俊彦・阪本大輔・朝倉利員・杉浦裕義, 2010: モモ '白鳳' の発芽における温度と自発休眠覚醒効果との関係, 農業気象 **66**, 173-179.
- Sugiura T, Sakamoto D, Koshita Y, Sugiura H, Asakura T, 2014: Predicted changes in locations suitable for tankan cultivation due to global warming in Japan. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* **83**, 117-121.
- Sugiura T, Sugiura H, Honjo H, 2006: A developmental rate model to simulate the endodormancy completion in flower buds of 'Satonishiki' sweet cherry. *Acta Horticulturae* **707**, 175-180.
- 杉浦俊彦・杉浦裕義・阪本大輔・朝倉利員, 2009: 温暖化が果樹生産に及ぼす影響と対応技術, 地球環境 **14**(2), 207-214.
- Sugiura T, Sumida H, Yokoyama S, Ono H, 2012: Overview of recent effects of global warming on agricultural production in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly* **46**, 7-13.
- 杉浦俊彦・横沢正幸・黒田治, 2002: 地球温暖化による年平均気温の変動がウンシュウミカンの栽培環境に及ぼす影響, 園芸学研究 **71**(別 1), 223.
- Sugiura T, Yoshida M, Magoshi J, Ono S, 1995: Changes in water status of peachflower buds during endodormancy and eodormancy measured by differential scanning calorimetry and nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* **120**, 134-138.
- 内嶋善兵衛, 1996: 地球温暖化とその影響 - 生態系・農業・人間社会 (ポピュラーサイエンス), 裳華房, 東京, 216pp.
- Yokozawa M, Goto S, Hayashi Y, Seino H, 2003: Mesh climate change data for evaluating climate change impacts in Japan under gradually increasing atmospheric CO₂ concentration. *Journal of Agricultural Meteorology* **59**, 117-130.