

欧州及びイタリアの果樹農業の現状と スマート農業に関する調査報告書

2020年3月

公益財団法人 中央果実協会
[JAPAN FRUIT ASSOCIATION]

本書の内容について、ご質問やお気づきの点がありましたら、
下記あてにご連絡下さるようお願いいたします。

公益財団法人 中央果実協会 情報部

〒107-0052 東京都港区赤坂1-9-13 三会堂ビル

【電 話】03-3586-1381 (代)

【F A X】03-5570-1852

はしがき

平成 27 年 4 月に公表された果樹農業振興基本方針に即して、都道府県の果樹農業振興計画や果樹産地構造改革計画が策定され、また平成 28 年度からは果樹農業好循環形成総合対策事業が実施されています。

他方、我が国の果樹農業は世界に類を見ない高品質果実生産に特化した栽培体系によって、生産が行われています。しかしながら、高齢化による生産者の減少や労働力が確保できなくなるといった課題が生じていることに加え、輸入自由化等が進む状況下において、海外への輸出展開や国内での輸入果実との競合においても競争力を確保していく必要があります。このような我が国の果樹産業を取り巻く環境の変化に対応して、当協会では、国内外の果樹産業に関する調査・情報の提供を行っています。

スマート農業は、ロボット技術や情報通信技術(ICT)等の先端技術と、生産者の熟練技術を組み合わせて、省力化・精密化や高品質生産の実現を推進する新たな農業として注目されています。しかし、果樹分野におけるスマート農業技術の開発・普及は、水田作、畑作に比べ小規模であり、施設園芸のような環境制御は困難であることから、遅れているのが現状です。

果樹分野においてスマート農業技術を推進して行くには、海外における関連情報の収集が重要であり、比較的小規模な栽培面積の欧州の動向は大いに参考になると考えられます。

そこで、果樹農業好循環形成総合対策事業における調査研究等事業の一環として、欧州、イタリアを対象に果樹農業の動向、スマート農業等の研究の現状・将来方向・導入上の課題等を文献調査・現地調査により取りまとめました。本調査にご尽力いただきました方々に、深く感謝申し上げます。

本調査報告書が、我が国の果樹関連施策の立案、果樹のスマート農業技術の開発に少しでもお役に立てば幸いです。

令和 2 年 3 月

公益財団法人 中央果実協会
理事長 弦間 洋

目 次

| | |
|----------------------------------|----|
| 調査の概要..... | 1 |
| 1. 調査の目的..... | 1 |
| 2. 調査の体制..... | 1 |
| 3. 調査の内容および方法..... | 1 |
| ○ 調査結果の要旨..... | 3 |
| I はじめに..... | 5 |
| II 欧州、イタリアの果樹農業の特徴と研究方向..... | 5 |
| 1. スマート農業、精密農業とは？..... | 5 |
| 2. 欧州、イタリア果樹農業の特徴と課題..... | 6 |
| 1) 欧州の気候帯と果樹生産..... | 6 |
| 2) 欧州の果樹農業の特徴..... | 9 |
| 3) 欧州の農業政策と予算..... | 12 |
| 4) 欧州の農業研究方向..... | 13 |
| III イタリアの果樹農業とスマート農業..... | 15 |
| 1. イタリアの気象環境..... | 15 |
| 2. イタリアの果樹生産と関連産業..... | 17 |
| 3. 南チロルのりんご栽培とスマート農業..... | 23 |
| 1) 南チロルの概要..... | 23 |
| 2) りんご産業の歴史と関連組織..... | 23 |
| 3) りんご栽培技術..... | 26 |
| 4) スマート農業、精密栽培..... | 30 |
| 4. 南チロルのぶどう栽培と精密農業..... | 35 |
| 1) ぶどう栽培とワイン産業..... | 35 |
| 2) 精密栽培..... | 37 |
| 5. シチリアの果樹とスマート農業..... | 38 |
| 1) 果樹生産と課題..... | 38 |
| 2) スマート農業..... | 40 |
| IV 欧州における醸造用ぶどうのスマート農業..... | 41 |
| 1. スマート農業、精密栽培の必要性..... | 41 |
| 2. 樹園地モニタリングとロボット..... | 43 |
| 3. 農薬削減の取組..... | 44 |
| 4. 栽培支援ツール..... | 45 |
| 5. 醸造用ぶどうの機械化..... | 46 |
| 6. ビッグデータ研究..... | 47 |
| V 果樹のスマート農業、精密農業の現地調査..... | 48 |
| 1. 日程..... | 48 |
| 2. 果樹、ぶどう園の精密管理に関する国際シンポジウム..... | 48 |
| 3. 現地調査..... | 54 |
| 4. 現地調査の感想..... | 61 |
| VI スマート農業、精密農業導入上の課題..... | 65 |
| VII 座長まとめ..... | 68 |

調査の概要

1. 調査の目的

果樹農業分野では、担い手の減少・高齢化の進行等により労働力不足が深刻な問題である。さらに果樹農業は、人手に頼る作業や熟練者でなければできない作業が多く、省力化、人手の確保、負担の軽減が重要な課題となっている。

スマート農業は、ロボット技術や情報通信技術(ICT)等の先端技術と、生産者の熟練技術を組み合わせ、省力化・精密化や高品質生産の実現を推進する新たな農業として注目されている。しかしながら、果樹分野におけるスマート農業技術の開発・普及は、水田作、畑作に比べ小規模で、施設園芸のような環境制御は困難であることから、遅れているのが現状である。

果樹分野においてスマート農業技術を推進して行くには、海外における関連情報の収集が重要であり、比較的小規模な栽培面積の欧州の動向は大いに参考になると考えられる。

そこで、欧州、イタリアを対象に果樹農業の動向、スマート農業等の研究の現状・将来方向・導入上の課題等を調査し、我が国の果樹関連施策の立案、果樹のスマート農業技術の開発に資するよう報告書の取りまとめを行うことを目的とした。

2. 調査の体制

(1) 推進体制

公益財団法人中央果実協会が学識経験者からなる検討委員会を開催し、調査方法・内容の検討、調査結果のとりまとめを行った。検討会委員は下記の通りである。

「海外の果樹生産技術の最新動向に関する調査」検討委員会

| | | |
|----|-------|--|
| 座長 | 喜多 正幸 | 農研機構 果樹茶業研究部門 生産・流通研究領域栽培生理ユニット長 |
| 委員 | 杉浦 裕義 | 農研機構 果樹茶業研究部門 ブドウ・カキ研究領域 栽培生理ユニット主任研究員 |
| | 太田 智彦 | 農研機構 農業技術革新工学研究センター 高度作業支援システム研究領域 高度施設型作業ユニット長 |

(2) 検討委員会の開催

第1回検討委員会 令和元年7月2日(火) 三会堂ビル2階 B会議室

第2回検討委員会 令和2年2月6日(木) 三会堂ビル2階 B会議室

3. 調査の内容および方法

(1) 調査の実施期間

令和元年5月～令和2年3月

(2) 果樹農業と生産技術に関する調査

調査対象地域は欧州(EU)とし、樹種は特に絞らず果樹全般とした。主要な果樹生産国で先進的な取り組みが行われているイタリアについては詳しい調査を行った。主な調査事項は以下の通りである。

- 1) スマート農業、精密農業とは？
- 2) 欧州、イタリア果樹農業の特徴と課題
- 3) イタリアの気象環境、果樹生産
- 4) 南チロルの果樹生産とスマート農業
- 5) 南チロルのぶどう生産と精密農業
- 6) シチリアの果樹とスマート農業
- 7) 欧州の醸造用ぶどうのスマート農業
- 8) スマート農業、精密農業導入の課題

参考にした文献は、EU の政策資料、EU やイタリアの統計資料、イタリア各州の資料、南チロルの果樹関係団体資料、関連論文・書籍・普及誌等である。

資料の取りまとめは、中央果実協会（朝倉審議役）が行った。

（3）果樹のスマート農業、精密農業に関する現地調査

欧州における果樹のスマート農業、精密農業の研究状況等を把握するために、イタリアシチリアのパレルモ大学で開催された国際園芸学会「果樹、ぶどう園の精密管理に関する国際シンポジウム」に参加した。

担当調査委員は、喜多委員、杉浦委員、太田委員であり、朝倉審議役が同行した。取りまとめは、分担して行った。

主な調査事項は以下の通りである。

- 1) りんご、ぶどう、核果類等のスマート農業、精密農業の最新動向
- 2) 果樹スマート農業に係わる機械の開発動向
- 3) 専門ツアー（ぶどう、オリーブのスマート農業）

（4）まとめ

総合まとめは座長がおこなった。

○ 調査結果の要旨

1. EU の主要な果樹生産地域は地中海沿岸と欧州中部にあり、果樹の主要生産国はスペイン、イタリア、フランスである。
2. EU の果樹農業は比較的経営面積が小さい。特に、イタリア、スペインは2ha 未満の生産者が多い。一方、フランスは100ha 以上の生産者の割合が多い。果樹経営者の年齢構成を見ると、イタリアは65 歳以上の割合が多く、高齢化が進んでいる。
3. EU の共通農業政策の柱は、農家支援と生産性向上による食料安定供給、農家の生活安定のためのセーフガード、気候変動対応と天然資源の持続的管理、農村地域と景観の維持、農食品業関連の雇用促進による農村経済の活性化であり、予算面でも農業分野を重視した配分が行われている。
4. EU の研究、技術開発の方向として、従来型の研究→指導・普及→生産者というリニアイノベーションでは世界的な技術革新の流れから遅れるとの反省に立って、関係者が双方向相互作用的に連携して推進するインタラクティブイノベーションを目指している。その特徴は、戦略的、相乗的、国際連携、ボトムアップ型、需要主導型研究推進、相互作用革新、マルチアクター参加型アプローチ等であり、欧州農業イノベーションパートナーシップ（EIP-AGRI）に多数の国際的なグループやネットワークが組織されている。
5. イタリアは、日射が多く、比較的降水量は少なく、湿度も低いことから、灌水を行えば果樹に適する条件である。果樹生産量は、ほとんどの果樹で日本を数倍から多いもので数十倍上回る。その他、有機栽培や苗木産業が盛んであり、地理的表示の登録数も多い。
6. 南チロルのりんご栽培技術は、世界的に見てもトップを誇る地域の一つである。それを実現してきたのは、生産者、生産組合、研究、普及指導、公共機関、民間が密接に連携しながら、各年代の課題を解決してきたことによる。栽培面積は小さいが、それをも強みにしている。
7. 南チロルのりんごの単収は5～6 トン/10a にもなる。それは、トールスピンドル樹形の高密植栽培、総合生産のガイドライン導入、有機栽培、雹害・霜害対策、貯蔵技術等を含めて総合的に技術が高いことによる。新しい取組には、マルチリーダー樹形、果樹園土壌のデジタルマッピング、果実・樹体・作業のモニタリングがある。
8. 南チロルの醸造用ぶどうは小規模な産地で、栽培面積も0.99ha 以下の生産者が多い。協同組合ワインにもかかわらず。組合員の強い共通ビジョンがあり、イタリア有数の高品質ワインを生産している。園地の気象、土壌が多様で、それぞれに適した多様な品種が栽培されている。多様な園地条件を利用して、日射、気温のメッシュ解析が行われ、適地判定や温暖化影響評価が行われている。
9. イタリアは大きな河川、湖が少ないことから干ばつを受けやすい。EU では、EDO と呼ばれる干ばつ観測の情報提供を行っている。シチリアでは、カンキツの節水管理のための精密な蒸発散量推定と根域水分把握の研究が行われている。
10. 醸造用ぶどうは、傾斜地にあることが多く、地形、気象、土壌条件の違いによって樹体生育、果実品質にバラツキがある。一方、目標とするワインのグレード、種類に合致する品質の果実生産・収穫が必要なことから、比較的早い1990 年代から精密ぶどう栽培の研究が始まっている。醸造用ぶどうは、樹形が垣根状、低樹高で機械化しやすく、せん定、摘心、摘葉、除草、農薬散布等にはトラクタ利用の機械化一貫体系が確立され、収穫も専用の大型機械が利用されている。
11. スペインは精密ぶどう栽培研究が盛んで、自動走行のモニタリングロボット VineScout の開発が進んでいる。DOSAVIÑA は、ぶどうの栽植様式、樹形を考慮して必要な散布量、好適な散布条件を提示するスマホツールである。ぶどうのべと病、うどんこ病を、IoT と気象的なモデルにより発病

危険度を評価し、農薬の適期散布に活かす試験も積極的に行われ、市販のシステムもある。

12. 現在、欧州での果樹のスマート農業研究は、センサ、ドローン、自律走行ロボットを利用した情報収集技術開発が中心である。研究分野は、樹園地モニタリング・マッピング、樹体・果実・収量モニタリング、灌水・水管理、意志決定支援システム等である。
13. スマート農業導入に際しての課題には、使用者の認知度の低さや専門用語の理解不足、高いコスト、検証済み技術の不足、現場の実態に合わない研究開発・政策等があり、農家で使えるスマート農業技術をどのように開発していくかが重要である。技術開発では、「どんな技術が必要か、その技術はいつ必要か、それはだれが必要か、それはどこで必要か、それはなぜ必要か」を検証しながら普及、生産者も含めインタラクティブに進めることが望ましい。国内連携だけでなく、国際連携も必要となるかもしれない。
14. スマート農業技術は、現在の農業の形を大幅に変えることが予想される。それが果樹分野にどの程度浸透していくかは明らかでないが、果樹についても世界中で精力的に技術開発が進められている。我が国でも、海外の動向を注視しつつ、スマート農業技術開発を進めていく必要がある。

I はじめに

現在、すでに第4次農業革命（Agriculture 4.0）が始まっているといわれている。それは、第2次大戦後の機械化と緑の革命による第3次農業革命から、新しい技術であるIoT、ロボティクス、AI等を利用した新しい農業革命である。それはスマート農業（Smart Agriculture, Smart Farming）とも呼ばれるものである。

スマート農業は、戦略的にも重要視され世界的に注目されている。しかし、スマート農業は新しい分野であることから、そのイメージするところ、その目的とするところは、国により、人により、分野によりかなり違っていると考えられる。特に、日本の果樹栽培では経験に基づいて集約的に作業を行うことから、将来的にどのようにしてスマート農業を取り入れていくかについて、検討が不十分だと考えられる。

そこで、比較的栽培面積が狭く日本にも参考になる点が多いと考えられる、欧州、イタリアの果樹農業の実態、スマート農業の状況を文献調査と現地調査により整理した。

海外のスマート農業技術を考える場合に、その技術のバックグラウンドとなる産業の実態、課題、政策的背景についても明確にすることが重要である。欧州については、果樹農業の概要とEUの共通農業政策、研究政策を調査した。イタリアについては、まず、全般的に果樹農業の特徴と課題を調査し、さらに、りんご、ワインで有名な南チロル、カンキツ産地のシチリアについて産地の特徴や関連組織、各種技術、スマート農業について詳しい調査を行った。

果樹でスマート農業、精密農業がもっとも進んでいるのは醸造用ぶどうであり、EUの先進事例として主にスペインの例を調査した。

現地調査については、国際園芸学会「果樹、ぶどう園の精密管理に関する国際シンポジウム」に参加し、この分野の最新研究、技術開発の現状を調査した。

スマート農業は、その技術開発だけでなく、それを現場にどのように導入していくかが重要である。そこで、スマート農業を導入していく上での課題についても調査した。

II 欧州、イタリアの果樹農業の特徴と研究方向

1. スマート農業、精密農業とは？

スマート農業とは、ロボット、AI、IoT、ドローン等の先端技術と、我が国で培われてきた農業技術を組み合わせた新たな農業であり、生産性の向上や規模拡大、作物の品質向上、新規就農者等への技術の継承、高度な農業経営を実現しようとするものである¹⁾。我が国では、ロボット技術やICT等の先端技術を活用した新たな農業として、特に、超省力化や高品質生産等を目指している^{2,3)}。

スマート農業という用語は、比較的新しい用語であり、農業技術事典NAROPEDIAには用語解説はない。ここでは、精密農業について、センサ技術、情報技術を活用して、土壌や生育状態、圃場履歴などに関する情報を位置情報とともに取得し、これに基づき肥料、農薬などの施用量を場所ごとにきめ細かく管理する農法としている⁴⁾。

欧州では、スマート農業に関して以下の3分野を挙げている⁵⁾。精密農業は、スマート農業の主要分野であり、同義で使われることも多い。

- ・管理情報システム

農作業、管理運営に必要なデータの収集・加工・貯蔵のための計画体系

- ・精密農業 (Precision Agriculture)

投入資源当たりの経済的利益の向上、環境影響低減のための空間・時間的変動の管理

例 GPS,GNSS (全球測位衛星システム)、ドローン空撮、地球観測衛星によるハイパースペクトル画像を最大活用した経済的利益と資源保存に配慮した農場管理の意志決定システム、

- ・農業自動化とロボティクス

農業生産のすべての過程でのロボット、自動制御、人工知能技術の利用、農業ロボットや農業用ドローンを含む。

果樹分野では、世界的に見ると精密ぶどう栽培 (Precision viticulture) という用語が、1990 年代ころから用いられている。現在でも、ぶどう以外の樹種では、精密〇〇栽培 (例、精密りんご栽培) という用語は普及していない。

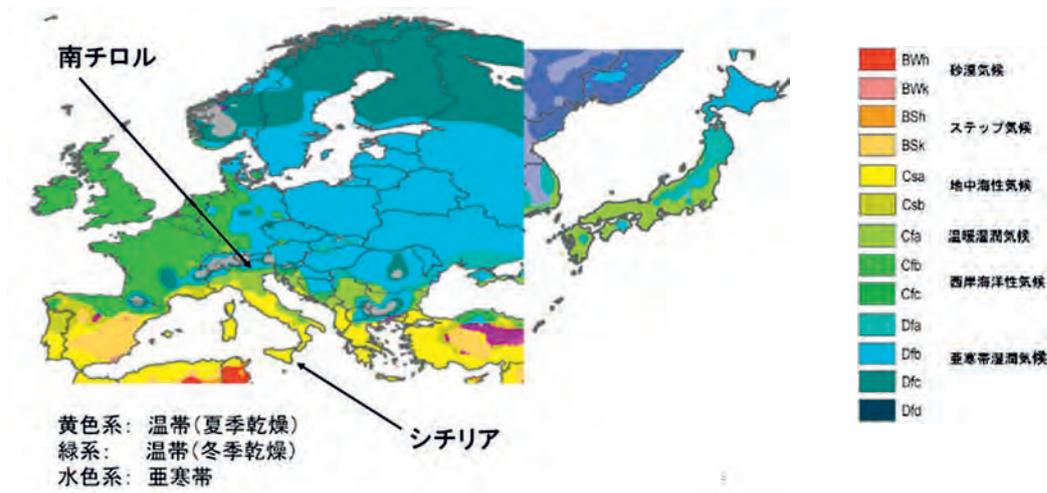
引用・参考文献

1. 農林水産省 平成 30 年度 食糧・農業・農村白書
2. 天野 英二郎. (2014). スマート農業の推進 — I C T ・ロボット等を活用した農業の取組—. 立法と調査 359:44-57
3. 農林水産省 スマート農業の展開について (2019 年 2 月)
4. 農業技術事典 NAROPEDIA. 農山漁村文化協会
5. Smart AKIS. What is smart farming?

2. 欧州、イタリア果樹農業の特徴と課題

1) 欧州の気候帯と果樹生産

欧州は南北、東西に多様な気候帯が広がっている (図 1)。西部は、北大西洋海流と偏西風の影響で、比較的温暖である。南部は、地中海性気候であり、一部はステップ気候である。東部は、地中海地域を除けば、亜寒帯気候である。イタリアは、南はシチリアから北部の南チロルまで南北に長く、気候も多様である。日本は、西部は温暖湿潤気候、東部や標高の高い地域は亜寒帯湿潤気候である。



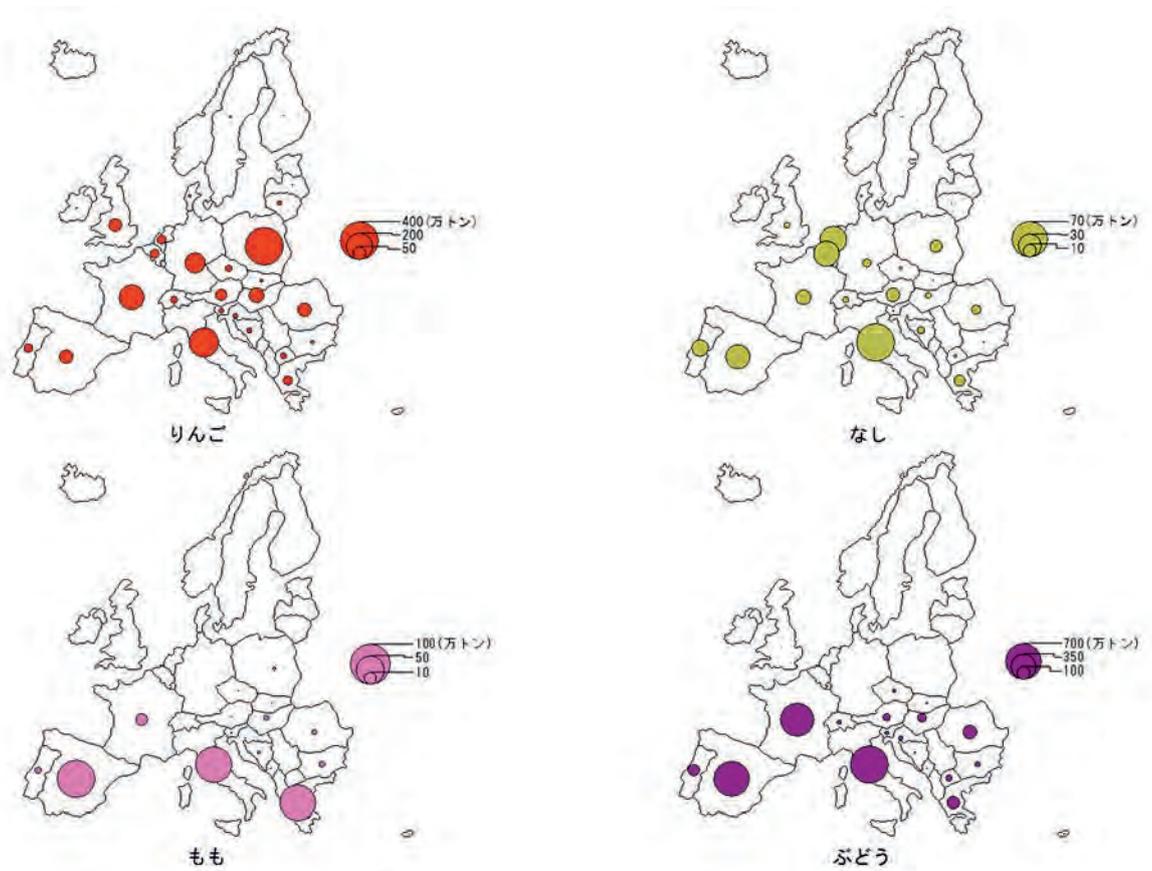
出所: Köppen-Geiger 気候図®より作成

図 1 欧州と日本のケッペン気候図

EU 各国の樹種別果樹生産量を見ると、主要な果樹生産国は、地中海沿岸地域と欧州中部の地域である（図2，3）。りんご、なし（西洋なし）、おうとうのような比較的冷涼な気候が適する果樹は、北欧を除く広い範囲に分布している。一方、もも、ぶどう、キウイフルーツ、オレンジ、オリーブは、地中海性気候の地域が産地となっている。

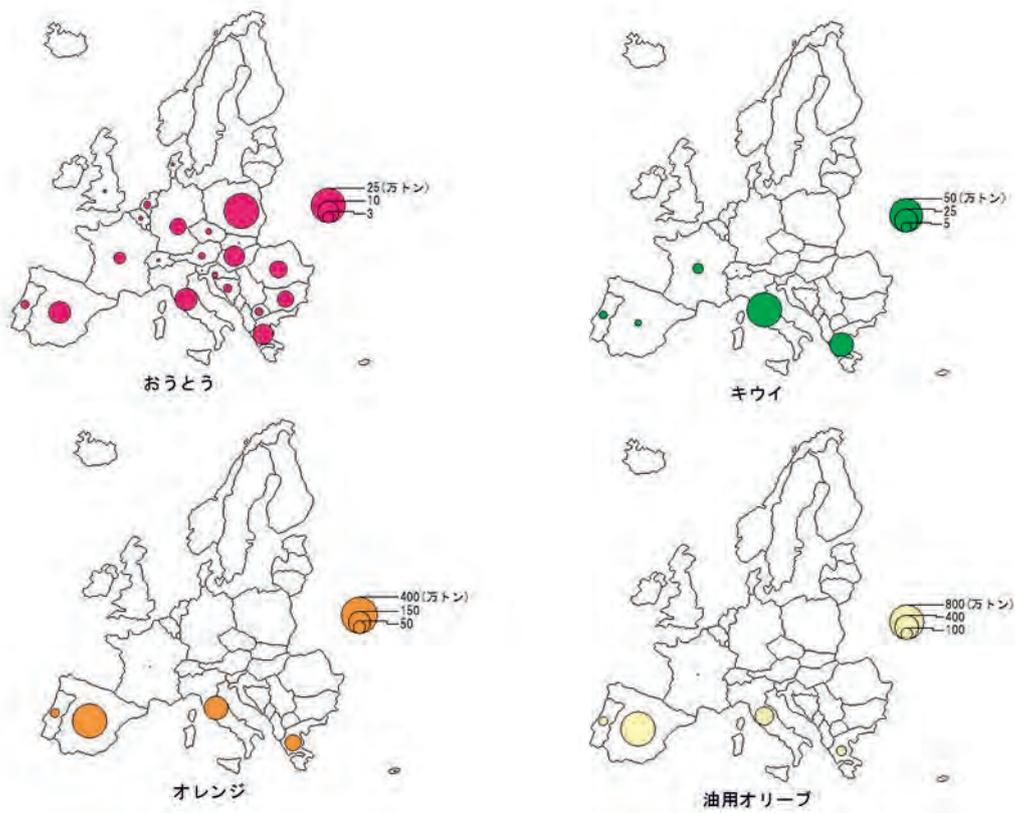
主要な生産国は、りんごはポーランド、イタリア、フランス、ドイツである。なしはイタリア、オランダ、ベルギー、スペイン、ももはスペイン、イタリア、ギリシャ、ぶどうはイタリア、スペイン、フランスである。おうとうは、ポーランド、イタリア、スペイン、キウイフルーツはイタリア、ギリシャ、オレンジはスペイン、イタリア、ギリシャ、オリーブはスペイン、イタリアである。

イタリア、スペインはほとんどの果樹で主要生産国であり、欧州の果樹大国と言える。



出所：Eurostat2018⁷⁾より作成、一部推定値含む

図2 EU諸国のりんご、なし、もも、ぶどうの生産量

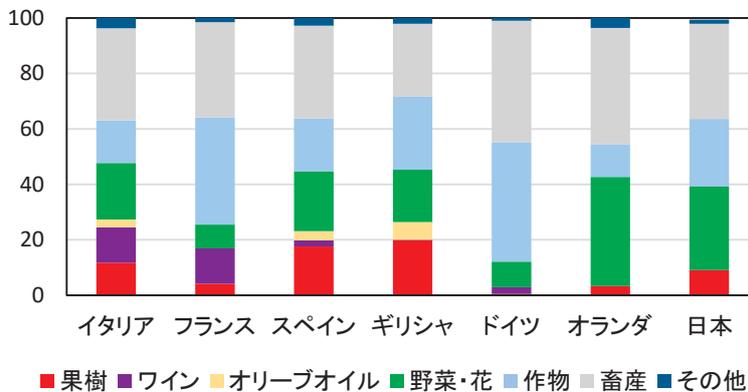


出所：Eurostat2018⁷⁾ より作成、一部推定値含む

図 3 EU 諸国のおうとう、キウイフルーツ、オレンジ、油用オリーブの生産量

欧州の主要農業国と日本について農業生産額の分野別割合を見ると、イタリア、スペイン、ギリシャは、果樹・ワイン・オリーブが主要農産物となっていることがわかる（図4）。野菜・花の割合が多いオランダを含め、欧州では園芸分野の重要性がうかがえる。

果樹は経済規模も大きいですが、「消費者の健康、すなわち生活習慣病（心血管疾患、ある種のガン、肥満）にともなうコストを下げる」として健康機能についても重要視されている⁸⁾。



注 「作物」：ジャガイモ、穀物、工芸作物（EUは林産物含む）

EUは2013～2015の平均、日本は2017年

出所：EU資料⁹⁾、平成29年農業生産額¹⁰⁾より作成

図 4 EU 諸国、日本の農業生産額分野別の割合

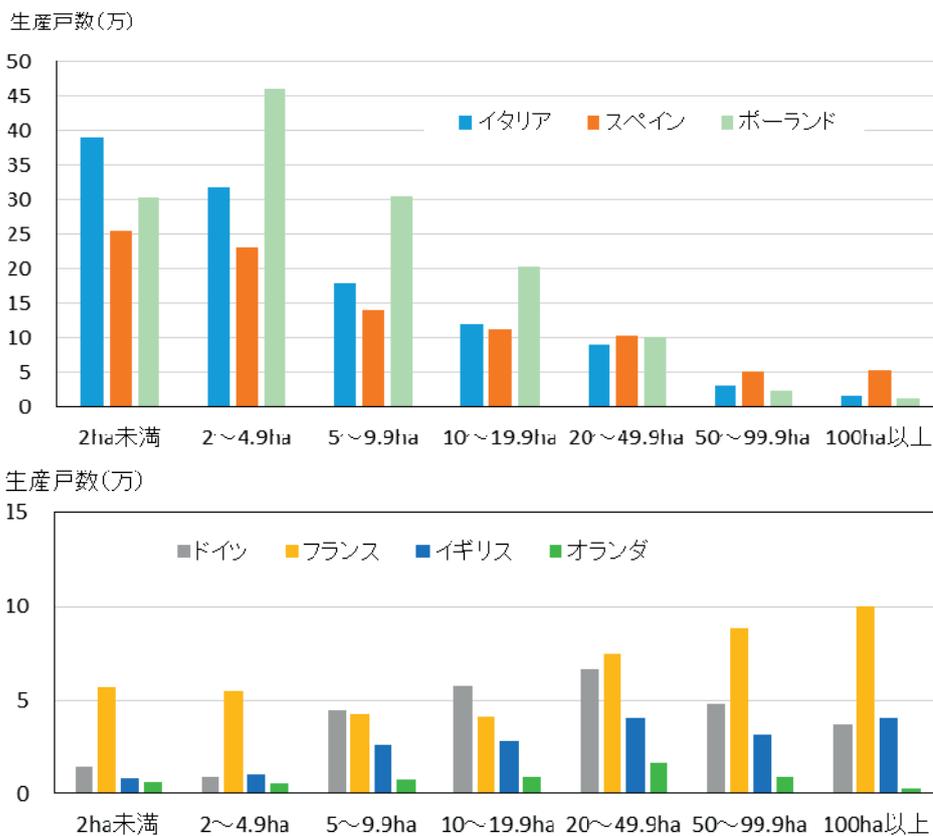
引用・参照文献

6. Peel, M. C. et al. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences discussions*. 4(2): 439-473.
7. EU. Eurostat.
8. EUFRIN. (2011). The role of the European fruit sector in Europe 2030.
9. EU. CAP in your country.
10. 農林水産省. 平成 29 年農業総生産額及び生産農業所得

2) 欧州の果樹農業の特徴

欧州の果樹園の経営面積は、国によってその傾向が異なる（図5）。イタリア、スペインは、2ha未満の生産者が最も多く、面積が増えるに従い生産者の戸数は減少する。ポーランドも経営面積が比較的小さく、2～4.9haの生産者が多い。4.9ha以下の生産者の割合は、イタリアでは61.9%、スペインでは51.6%、ポーランドでは54.3%である。一方、50ha以上の生産者の割合は、イタリアでは4.1%、スペインでは10.8%、ポーランドでは2.4%であり、大規模生産者は限られる。

フランスは100ha以上の生産者がもっとも多く、ドイツ、イギリス、オランダでは、20～49.9haの生産者がもっとも多い。50ha以上の生産者は、フランスでは41.3%、ドイツでは30.6%、イギリスでは38.6%、オランダでは21.5%とイタリア、スペイン等に比べ大きな割合を占める。一方、4.9ha未満の生産者の割合は、フランスでは24.3%、ドイツでは8.6%、イギリスでは10.2%、オランダでは20.1%であり、特に、ドイツ、イギリスは少ない。



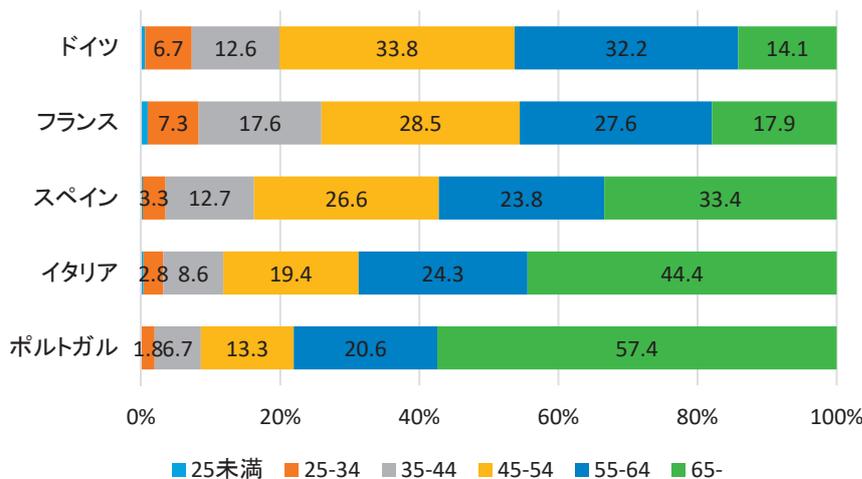
出所: Eurostat2016¹¹⁾より作成

図5 EU諸国の果樹園面積別の生産戸数

欧州の果樹経営者の年齢構成を見ると、国によりその傾向が異なる(図6)。ここでの果樹経営者とは、法的にも経済的にも経営責任のある人である。経営体に経営者以外の若手の農業従事者がいても、この統計には反映されない。経営を継承する場合には、経営者の引退後に後継者に引き継がれるので、後継者は35歳を超えることも多い。

イタリアの果樹園経営者の年齢構成は、65歳以上が44.4%と多く、54歳以下の経営者は31.3%と少ない。ポルトガルは、さらに高齢の経営者が多く、65歳以上の経営者は57.4%であり、54歳以下は21.9%である。

ドイツやフランスは、54歳以下の果樹園経営者が、それぞれ5.3.7%、54.4%と多く、65歳以上の経営者は、それぞれ14.1%、17.9%と少ない。



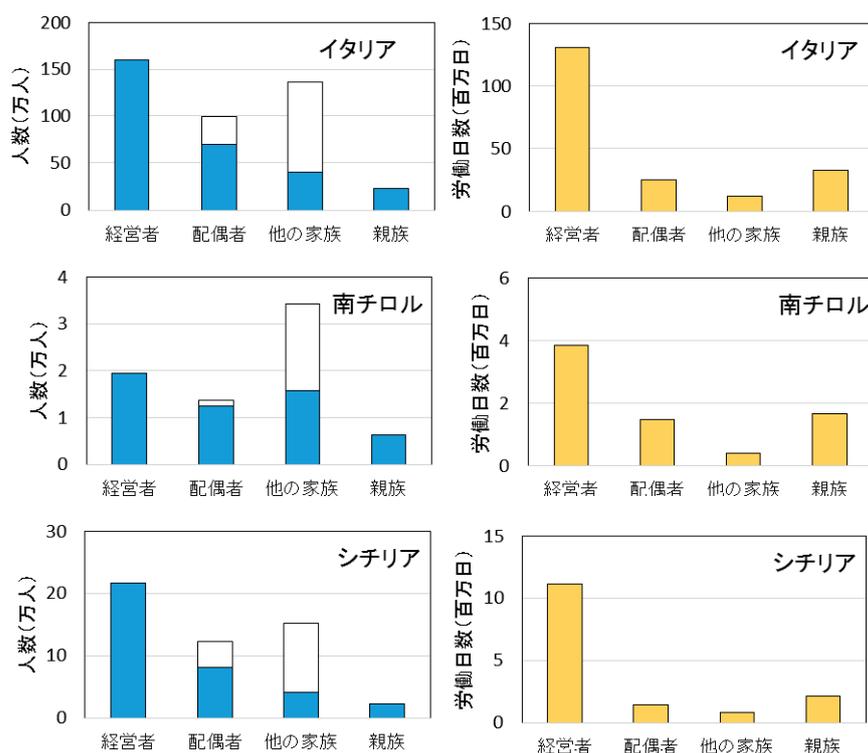
出所：Eurostat2016¹¹⁾より作成

図6 EU諸国の果樹経営者の年齢層割合

我が国の農林業センサス、農業構造動態調査における基幹的農業従事者（農業就業人口のうち、ふだんの主な状態が「主に自営農業」の者）の年齢構成では、経営者以外も含まれることに注意を要する。

欧州の農家1,200万戸の大部分は家族農業である。イタリアを例に見ると、経営者の他に、配偶者、他の家族、親族も農業労働に従事していることがわかる(図7)。特に南チロルについては、農業に従事している配偶者の割合が特に高いのが特徴であり、他の家族も多く参加している。経営者の労働時間に比べて、配偶者、他の家族の労働時間が少ないのは、年間を通して働くのではなく、収穫等の忙しい時期に従事していることが考えられる。

農業は農村地域の社会経済的、環境的な持続可能性に寄与している。そのため欧州ではその主体となる家族農業をいかに若手後継者に継承していくかが、大きな課題となっている¹³⁾。



注 配偶者、他の家族の白抜き部分は果樹園作業を行っていない人数

出所：ISTAT センサス 2010¹²⁾ より作成

図 7 イタリア、南チロル、シチリアの果樹園作業に従事している人数

欧州の農業雇用労働者については、移民労働者も多いことが知られている^{14~16)}。しかし、その実態は不明な点が多い。

イタリアは、果樹・野菜の生産が盛んであり、特に、果樹・野菜の収穫にジャストインタイムに必要な季節労働力を確保する必要がある。2015年の農業労働者数84.3万人のうち移民労働者は40.6万人であり、その割合は48%とされている¹⁴⁾。これらの数値は、資料や年度により大幅に異なっている。

イタリアにおける移民労働者の出身国は、ルーマニア、インド、アルバニア、モロッコ、ポーランド、ブルガリア等であり¹⁴⁾、移民労働者の多い州は、シチリア、エミリア＝ロマーニャ、プーリアである¹⁵⁾。移民労働者の正式な入国審査には時間がかかる。そのため、移民の雇用の多くは伝統的なギャングマスター（搾取を行う元締め）システムによると考えられている^{14,16)}。特に南部地方ではギャングマスター雇用が多く、人権問題にもなっている。近年、移民・難民の受入が厳格化されたこともあり、東欧出身者の受入が増加傾向にある。東欧出身者の賃金はアフリカ出身者より低いとされ、南チロルでは、収穫時には東欧出身者を雇用しているようである。

イギリスは、Brexit に関して移民の受入が少なくなることが考えられ、果実を収穫する労働者が不足することが懸念されている¹⁷⁾。

EU の農業労働力の現状と課題については、最近出された報告書に詳しい¹⁸⁾。

引用・参照文献

- 11. EU. Eurostat.
- 12. Italy. ISTAT センサス.

13. Carillo, F. et al. (2013). Aging and succession on Italian farms. No. 171-2016-2075.
14. Corrado, A. (2018). Is Italian agriculture a 'pull factor' for irregular migration - and, if so, why? Open Society Foundation.
15. López Sala, A. et al. (2016). Seasonal immigrant workers and programs in UK, France, Spain and Italy. Proyecto Temper.
16. Corrado, A. (2017). Migrant crop pickers in Italy and Spain. Heinrich Boll Foundation. Heinrich Böll Foundation.
17. 16m apples "left to rot" due to worker shortages. *EUROFRUIT*. (2019.10.21)
18. Schuh, B et al. 2019, Research for AGRI Committee – The EU farming employment: current challenges and future prospects, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels.

3) 欧州の農業政策と予算

EUの共通農業政策は1962年に打ち出され、現在の目的は以下の5つである¹⁹⁾。

- ・農家支援と生産性向上による食料安定供給
- ・農家の安定生活のためのセーフガード
- ・気候変動対応と天然資源の持続的 management
- ・農村地域と景観の維持
- ・農業、農食品産業、関連産業での雇用促進による農村経済の活性化

農業は他の多くの産業とは異なり、次のような配慮が必要とされている。

- ・食料生産の重要性にもかかわらず、農家の収入は、非農業分野に比べて40%ほど少ない。
- ・農業は、他の分野より気象、気候への依存度が大きい。
- ・消費者需要と農家供給には避けられない時間的ギャップがある。

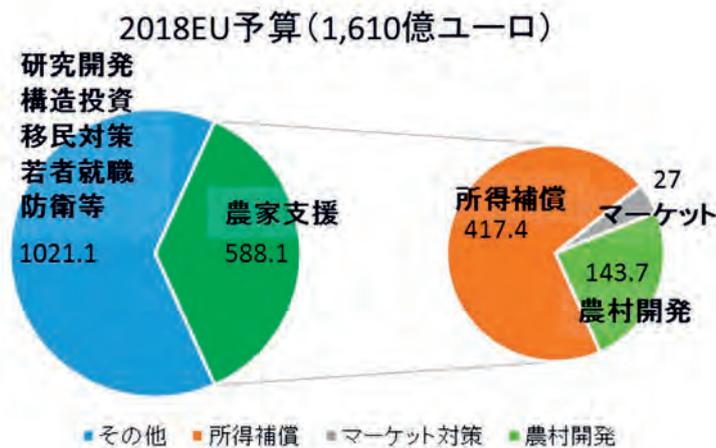
農業経営の不確実性と環境影響が大きいことから、公的セクターが果たすべき重要な役割がある。そのため、共通農業政策として以下の取組が行われている。

- ・所得補償：所得の安定性を確保するための直接支払、環境に優しい農業、公共財の提供（環境保全）に対する報酬支払
- ・マーケット対策：健康上の不安による需要の急減、一時的な供給過剰による価格低下のような市場状況への対応
- ・農村開発：農村地域が直面する要望や課題に対して国や地域が対応する取組への支援

2018年のEU予算で見ると、総額は1,610億ユーロであり、そのうち588.1億ユーロは農家支援であり、内訳は所得補償417.4億ユーロ、農村開発143.7億ユーロ、マーケット対策27億ユーロとなっている（図8）。このようにEUとして農業分野を重要視していることがわかる。

その他、研究開発112億ユーロ、構造投資資金551億ユーロの中にも、研究、イノベーション、天然資源の持続的 management等農業に関係した予算が積み込まれている。

こうした農業関係予算は、EUだけでなく世界への食料供給への貢献、関連産業を含めた農業の発展・労働者の雇用、自然環境・生物多様性の保全等に寄与している。



出所: 2018EUBudget²⁰⁾より作成

図 8 EU 予算の割合

引用・参照文献

19. EU. The common agricultural policy at a glance.

20. EU. 2018 EU budget.

4) 欧州の農業研究方向

EU 農業、農業食品、農村地域の課題に対して、どのような研究、技術革新が必要か整理されている(表 1)²¹⁾。主要な課題は、食糧栄養安全保障、気候変動、環境と生物多様性、健康的な生活習慣、農村地域・地域的結合である。このなかで、気候変動や環境と生物多様性の課題に対して、ビッグデータ利用による精密農業、新しい農業システム、生態学的アプローチ等が取り上げられている。

表 1 EU の農業研究課題と技術革新の潜在的寄与

| 課題 | 内容 | 技術革新の潜在的寄与 |
|------------|---|---|
| 食料栄養安全保障 | 世界人口は2100年までに105億人に達することが予想され、それに見合う食料が必要 | 新規植物育種技術(既存の遺伝資源と育種技術の積極的利用含む)、家畜育種、乾燥抵抗作物、廃棄食品の削減 |
| 気候変動 | 気温上昇と気象パターンの変化により、食料生産と食料安に影響 | ビッグデータ利用による精密農業、新しい農業システム、生態学的アプローチ(生態系の公益的機能利用含む) |
| 環境と生物多様性 | 不適切な土壌管理や過度の単作による土壌有機物の欠乏、土壌圧縮、浸食 | 精密農業、生態学的アプローチ(生態系の公益的機能利用含む)、農家と新規ビジネスモデルとの連携 |
| 健康的な生活習慣 | 2型糖尿病、心血管障害、肥満等の多くの生活習慣病は食事摂取と生活習慣に関係 | より適切な食事パターン、食品トレーサビリティ、学校果物計画、スマートシティ、都市農業・近郊農業 |
| 農村地域、地域的結合 | 人口構成の変化、都市化、農家規模拡大、人口減 | EIP-AGRI(農業持続可能性と生産性についてのヨーロッパ革新パートナーシップ)、農村発展計画、都市・近郊農業、社会革新。スマートビレッジ、デジタル接続性、LEADER型発展、バイオエコノミー戦略 |

LEADER: 農村活性化、雇用促進についてのローカルサポートプログラム

出所: EU agricultural research and innovation²¹⁾より作成

また、EU の農業研究の推進方向として、2019 年 3 月に、「欧州の農業農村のためのスマートで持続的なデジタル未来」の宣言が出され、農業における新技術とデジタル化が共通農業政策を推進する上で極めて重要であることが示された²²⁾。

新技術も農家で導入されてこそ意味を持つ。ポスト 2020 共通農業政策の提案では、新技術導入の重要性が考慮され、一例として、収入補助受取者に対する肥料の農場持続的ツール (Farm Sustainability Tool for Nutrients, FaST) の使用を義務化することも含まれている。これにより農業分野のデジタル化を推進しつつ、肥料の持続的使用を進める狙いがある。

予算面においても、スマートで持続的なデジタル技術の開発を進めながら、技術の導入を図るような配慮がなされている。こうした取組が、激化する気候変動に対応しつつ、増大する人口を養い農家の世代交代を保証するのに必要である。

EU 各国は、国別に国内の事情に合わせて環境・農業政策についての活動計画を設定している²³⁾。イタリアの例について紹介する。そこでは、農村地域における環境と景観について SWOT 分析により強み、弱み、機会、脅威 (Strength, Weakness, Opportunities, Threats) を抽出し、それに基づいて活動計画を設定している (表 2)²⁴⁾。この中でも、総合農業、有機農業、減農薬、精密農業、灌漑管理が取り上げられている。

表 2 イタリア農村地域における環境と景観に関する SWOT 分析 (果樹野菜分野)

| 強み | 弱み |
|--|---|
| イタリア半島の豊富な生物多様性 | 生物多様性(遺伝的、種、生態系)の減少傾向 |
| 歴史的文化的特質(地方品種)を持つ伝統的生産 | 農耕地の生物多様性が懸念される状態 |
| より効率的な灌漑システムの普及傾向 | 水質、特に窒素多施用による地下水汚染 |
| 化学物質(肥料、農薬)削減の普及傾向 | 水不足 |
| 再生可能エネルギーとしてのバイオマス利用の増加 | 肥料、農薬による水質劣化 |
| 有機農業の拡大 | 水需要の増加 |
| 総合生産の拡大 | 水消費に関する非効率な管理 |
| | 農業分野の化石燃料使用の増加(機械化、空調) |
| | 技術的、経済予算的問題による限定的なバイオマス利用 |
| | 土壌有機物の減少 |
| | 中山間地における土壌流失や水害に対する脆弱性 |
| 機会 | 脅威 |
| 農業地域の高い自然的価値が生物多様性や伝統的生産の保護に対する重要な要因となっている | 農業分野以外の要因から来る環境圧力 |
| 耕作方法の変更による温室効果削減の可能性あり | 農業関連分野からの圧力:より集約的な農業、生産の専門化、山地・限界地での伝統農法からの逸脱、山地農業の放棄、都市化 |
| 地方市場等を通じた果樹野菜分野のバイオマス利用の可能性 | 都市近郊農地に対する争い、肥沃な農地の転用 |
| 活動計画 | |
| 総合農業(環境に配慮した持続可能な農業) | |
| 有機農業 | |
| 農薬散布の量・回数の削減 | |
| 精密農業機器の利用 | |
| 土壌管理 | |
| 灌漑管理 | |

出所: Italy National Framework for Environmental Actions²²⁾ より作成

EU ではこうした様々の課題を解決していくために、研究、技術開発をどのように進めるかについて検討がなされている。そこでは、EU の研究、イノベーション戦略を推進するために、EIP-AGRI (The European Innovation Partnership for Agricultural productivity and Sustainability) が決められている^{25~27}。これは科学的知識の流れが、従来型の研究→指導・普及→生産者ではイノベーションは進まず、世界的な技術革新の流れに遅れてしまうという反省に立っている²⁰。すなわち、リニアイノベーションモデル（直線的一方的な考え方）ではなく、インタラクティブイノベーションモデル（双方向相互作用的な考え方）で研究を進めていくということである。

インタラクティブイノベーションモデルでは、研究、指導・普及、生産者、その他関係者が相互協力して、科学的、現場的、組織的等の知識を最大限活用し、共同創造、実行に向けた解決策・機会の拡散を行うモデルである^{21,25}。その特徴は、戦略的、相乗的、国際連携、ボトムアップ型、需要主導型研究推進、相互作用的革新、マルチアクター参加型アプローチ等である。この考えに従って、EU では EIP-AGRI に多数の国際的なグループやネットワークが組織されている。

引用・参考文献

21. European Parliamentary Research Service. (2019). EU agricultural research and innovation.
22. European Commission. (2019). New technologies and digitization in agriculture: a crucial aspect to deliver on CAP's objectives.
23. EU. National Framework for Environmental Action. https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/fruit-and-vegetables/country-files/fi/framework_en.pdf
24. Italy Ministry of Agriculture Food and Forestry. Regulation (EC) n. 1234/2007 – Fruit and vegetables sector. NATIONAL STRATEGY 2009-2013. National Framework for environmental actions.
25. European commission. EIP-AGRI.
26. EIP-AGRI. Pooling funding streams to boost interactive innovation.
27. EIP-AGRI. The EIP-AGRI is part of EU's growth strategy for this decade.

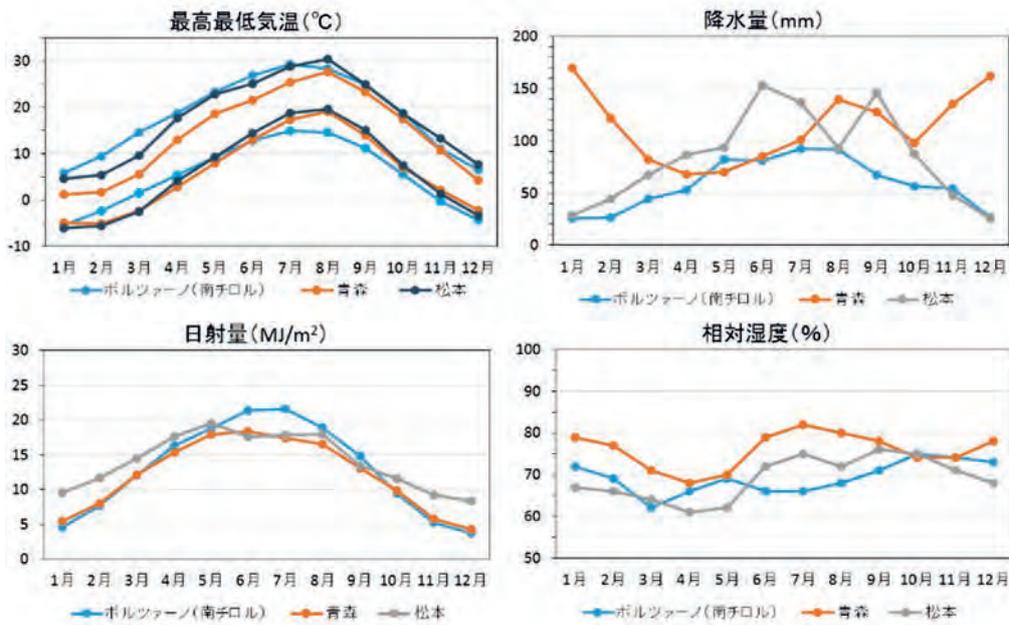
III イタリアの果樹農業とスマート農業

1. イタリアの気象環境

イタリアはケッペン気候区分で見ると、中部南部にかけては地中海性気候と温帯湿潤気候であり、北部アルプスに近い一部地方は亜寒帯湿潤気候である。北部のりんご産地である南チロルのボルツァーノの気象を、我が国のりんご産地の青森、松本と比べたのが図 10 である。気温は、ボルツァーノが青森、松本に比べ2、3月の気温が高く、7、8、9月の最低気温が低く日較差が大きい。降水量は、傾向は松本に似て生育期に多く冬季に少ないが、松本より少ない。青森との比較では、1～3月、8～12月に降水量が少ない。日射量は6～9月に多く、相対湿度はこの時期に低い傾向である。全体的に見ると、ボルツァーノの6～9月の気象条件は、日射量が多く、日較差も大きく、相対湿度も低く、りんご栽培に適する条件と考えられる。



図 9 イタリアの州地図

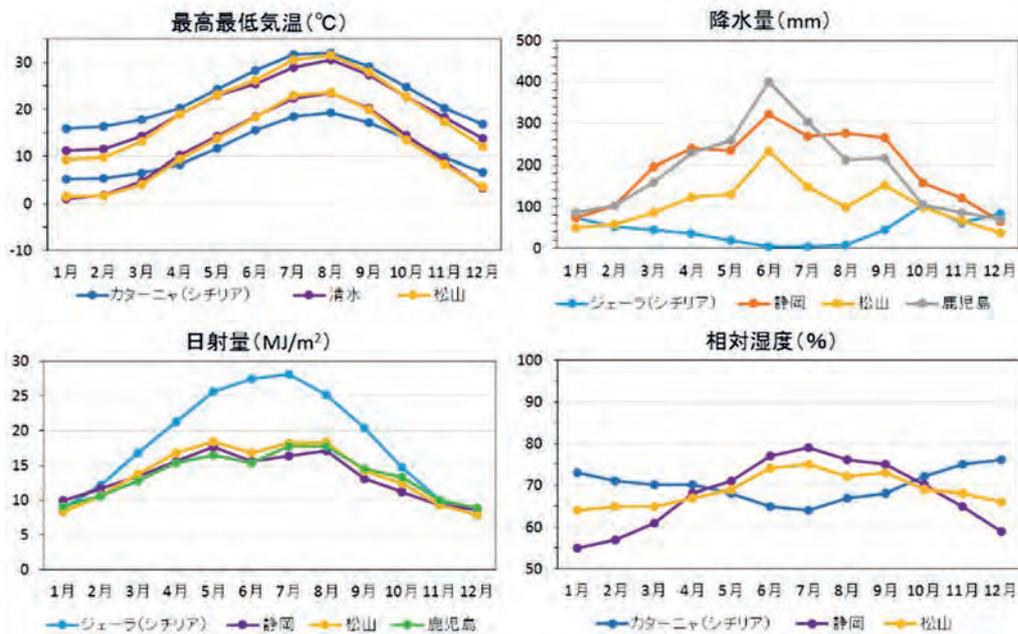


出所：UN data²⁸⁾ より作成

図 10 ボルツァーノと青森、松本の最高最低気温、降水量、日射量、相対湿度

カンキツ産地であるシチリアの気象を、我が国のカンキツ産地の静岡・清水、愛媛、鹿児島と比べたのが図 11 である。シチリアの観測点はカターニャとジェーラであり、カターニャはシチリアの東部、ジェーラは南部に位置する。カターニャは、イタリア最大のカンキツ産地である。

気温は、カターニャが秋冬季の気温が高く、5~9月の最低気温が低く、気温較差が大きい。ジェーラの降水量は3~9月に少なく、同時期に日射量が非常に多い。相対湿度は、夏に低く冬に高い。降水量が少ないことを除けば、果樹栽培に適する条件といえる。



出所：UN data²⁸⁾ より作成

図 11 シチリアと静岡・清水、松山、鹿児島の高最低気温、降水量、日射量、相対湿度

イタリアの中部、南部では、降水量が少なく大きな川、湖も少ないことから、灌漑が非常に重要である。地中海性気候の諸国は、灌漑を行う農地面積が多いが、その中でもイタリアは最もその割合が大きい（図 12）。

灌漑面積割合(%)

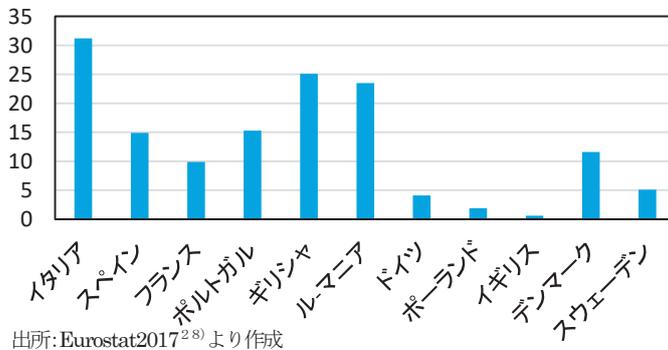


図 12 EU 諸国の農地灌漑面積割合

引用・参考文献

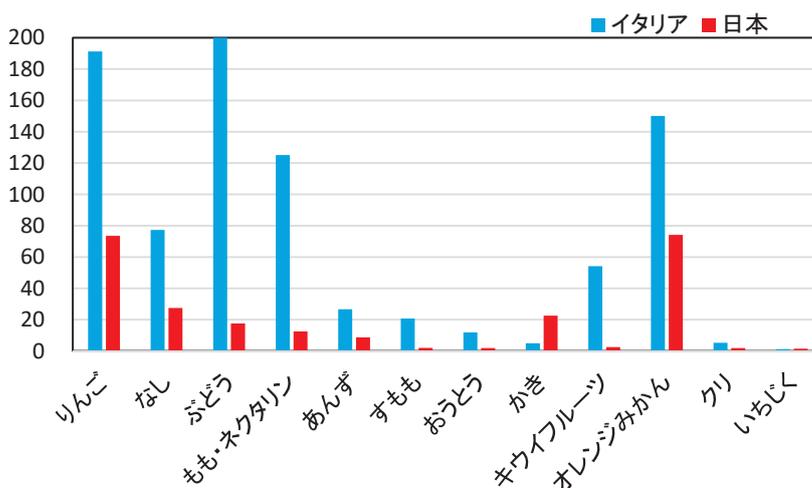
28. UN data. <https://data.un.org/>

29. EU. Eurostat

2. イタリアの果樹生産と関連産業

イタリアは日本と同様、多様な果樹を生産している。また、生産量は、ほとんどの果樹で日本を数倍から多いもので数十倍上回る（図 13）。具体的には、りんご 2.6 倍、ぶどう 40.7 倍、もも・ネクタリン 10 倍、キウイフルーツ 22.1 倍、オレンジみかん 2.0 倍である（表 3）。オリーブの栽培面積は 108 万 ha であり、ぶどう 61 万 ha、カンキツ類 12.6 万 ha、りんご 5.2 万 ha に比べても多く、イタリアの最重要果樹の一つである（図 14）。日本がイタリアより生産量が多い果樹は、かき、いちじくである。

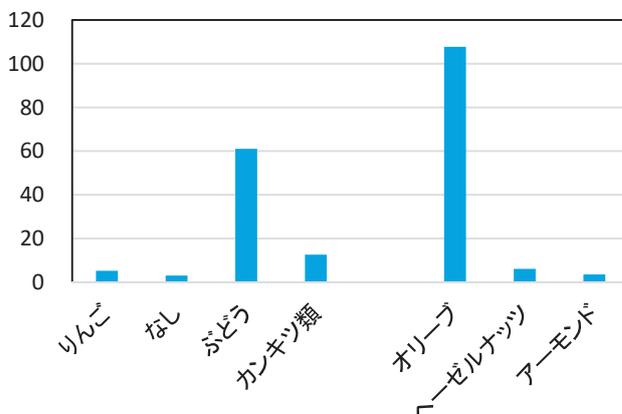
生産量(万トン)



出所: イタリアは Eurostat2017³⁰⁾, 日本は H29 年果樹統計と H28 年特産果樹統計^{31), 32)}より作成

図 13 イタリア、日本の果樹生産量比較

栽培面積
(万ha)



出所：イタリアはEurostat2017³⁰⁾より作成

図 14 イタリア果樹の栽培面積

表 3 イタリア、日本の果樹生産量比較

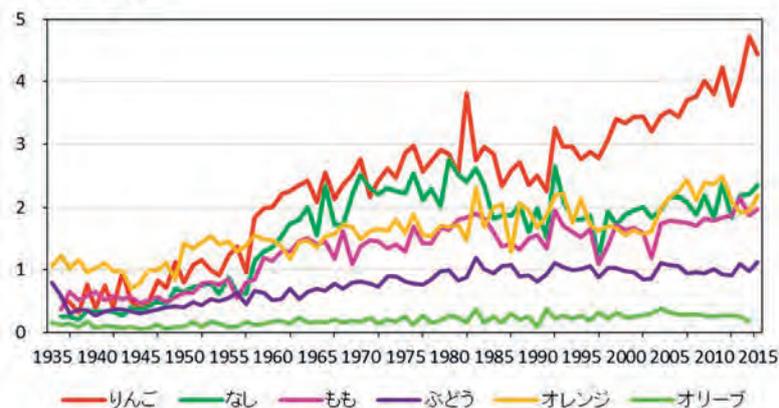
| 果樹 | 生産量(万トン) | | 生産量 (対日本比) |
|----------|----------|------|---------------|
| | イタリア | 日本 | |
| りんご | 191.3 | 73.5 | 2.6 |
| なし | 77.3 | 27.5 | 2.8 |
| ぶどう | 717.0 | 17.6 | 40.7 |
| もも・ネクタリン | 125.1 | 12.5 | 10.0 |
| あんず | 26.6 | 8.7 | 3.1 |
| すもも | 20.7 | 2.0 | 10.6 |
| おうとう | 11.8 | 1.9 | 6.2 |
| かき | 5.0 | 22.5 | 0.2 |
| キウイフルーツ | 54.1 | 2.4 | 22.1 |
| オレンジみかん | 150.1 | 74.1 | 2.0 |
| クリ | 5.2 | 1.9 | 2.8 |
| いちじく | 1.1 | 1.4 | 0.8 |

出所：イタリアはEurostat2017³⁰⁾、日本はH29年果樹統計とH28年特産果樹統計^{31)、32)}より作成

イタリアの主要果樹の単収は、りんごの増加傾向が特に顕著である(図15)。りんごの10a当たりの単収は4.5トンであり、日本の2.01トンに比べ2.5倍にもなる。なしは、1980年頃をピークに減少し、近年は2.2トン程度である。近年、もも、オレンジは2.0トン、ぶどうは1.1トンである。なし、ぶどう、みかん(イタリアはオレンジ)の単収は日本とほぼ同じであり、ももはイタリアが多い。

イタリアのりんご単収の動向は、主要産地の南チロルの単収が密接に関係している。南チロルのりんご栽培技術については後述する。

単収(トン/10a)



出所：ISTAT³³⁾より作成

図 15 イタリアにおける主要果樹の単収年次推移と日本の平成29年単収

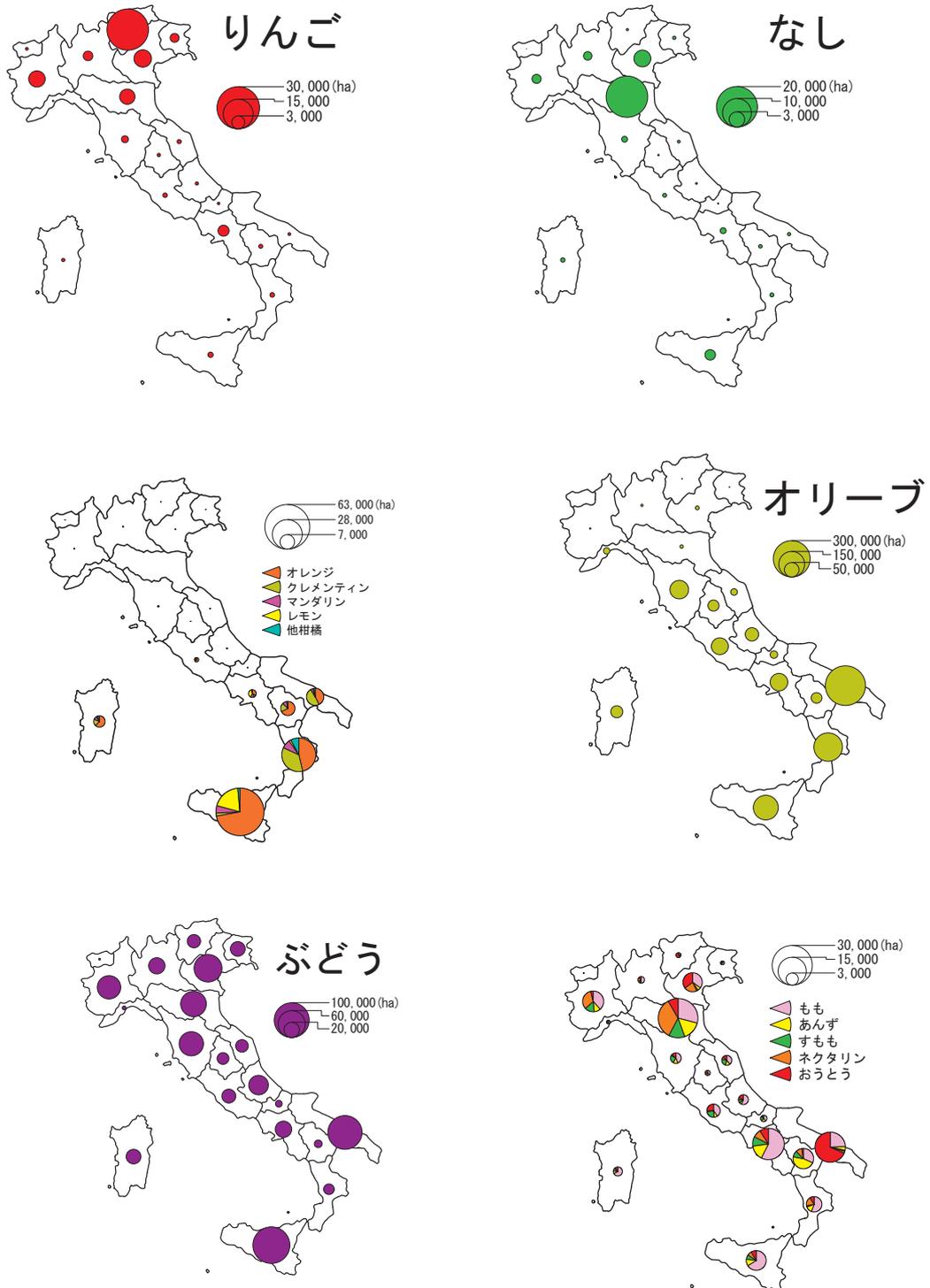
| 品目 | 単収 (トン/10a) |
|------|----------------|
| りんご | 2.01 |
| 日本なし | 2.10 |
| もも | 1.29 |
| ぶどう | 1.04 |
| みかん | 1.83 |

出所：平成29年果樹統計³¹⁾より作成

主な果樹についてイタリアの州別栽培面積を見ると、樹種により特徴のあることがわかる(図16、17)。生産の多い地域は、りんご、なしは北部、カンキツ類は南部、オリーブは中部南部、ぶどう、核果類、ナッツ類は全国的に広がっている。

樹種別に主な生産州を見ると、りんごはトレンティーノ=アルト・アディジェ自治州、なしはエミリア=ロマーニャ州、カンキツ類はシチリア州、カラブリア州、オリーブはプーリア州、カラブリア州、シチ

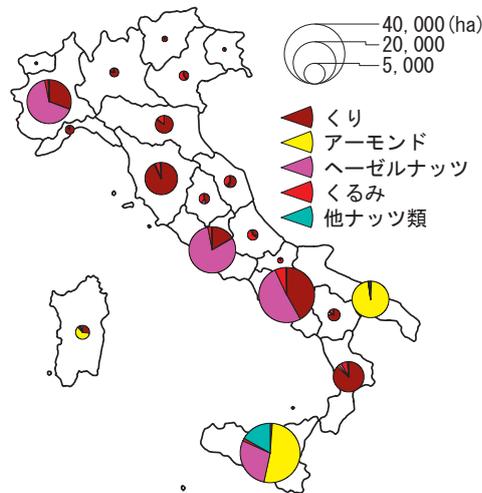
リア州である。ぶどうが比較的多いのはシチリア州、プーリア州、ヴェネト州であり、核果類はエミリア＝ロマーニャ州、カンパニア州、プーリア州である。



出所：ISTAT2017³³⁾ より作成

図 16 イタリア州別のりんご、なし、柑橘類、オリーブ、ぶどう、核果類の栽培面積

ナッツ類は、シチリア州、カンパニア州、ラツィオ州、ピエモンテ州である。



出所：ISTAT2017³³⁾より作成

図 17 イタリア州別のクリ、ナッツ類の栽培面積

次に、イタリアの果樹栽培で特徴的な事項を取り上げる。

有機果樹栽培が盛んである

有機果樹栽培が多く、カンキツ類、バラ科温帯果樹、オリーブは世界最大面積であり、ぶどうも世界最大のスペインと並ぶ規模である（表4）³⁴⁾。また、有機栽培の面積割合も、カンキツ類 27.0%、バラ科温帯果樹 11.2%、ぶどう 15.8%、オリーブ 20.2%と多い。

表 4 果樹有機栽培の国別比較

| 国名 | カンキツ類 | | 温帯果樹(バラ科) | | ぶどう | | オリーブ | |
|------|--------|-------|-----------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | 面積(ha) | 割合(%) | 面積(ha) | 割合(%) | 面積(ha) | 割合(%) | 面積(ha) | 割合(%) |
| イタリア | 39,656 | 27.0 | 24,825 | 11.2 | 105,384 | 15.8 | 235,741 | 20.2 |
| スペイン | 12,088 | 3.3 | 6,189 | 3.1 | 106,897 | 11.6 | 195,114 | 7.6 |
| フランス | 409 | 8.7 | 16,707 | 16.5 | 78,502 | 10.4 | 4,736 | 27.3 |
| 米国 | 4,919 | 1.6 | 11,670 | 4.1 | 11,071 | 2.7 | 719 | 5.1 |
| 中国 | 4,100 | 0.2 | 22,400 | 0.4 | 24,500 | 2.9 | | |
| 世界 | 87,810 | 0.9 | 204,382 | 1.6 | 403,047 | 5.7 | 882,899 | 8.3 |

注 有機移行中の面積を含む

出所：The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2019³⁴⁾より作成

2019年の世界の有機果樹栽培面積を2004年比で見ると、カンキツ類は3倍、バラ科温帯果樹は2倍、ぶどうは4倍、オリーブは3倍に伸びている。イタリアの有機果樹栽培が急増したのは、気象条件、栽培条件が好適であり、EUの中央に位置し市場アクセスがよいこと、EUの補助金政策等が理由である。

果樹苗木産業が盛んである

果樹、ぶどう苗木の生産者数1,350戸、生産額4億3,860万ユーロ、輸出額1億6,991億ユーロ、面積11,500ha、雇用者数3万4千人であり、一大産業となっている（表5）。苗木の生産本数は、イチゴも含めると全体で4億3,230万本であり、輸出割合も樹種により異なるが、30~40%にのぼる。

表 5 イタリア果樹苗木産業の生産、販売概要

| 種類 | 生産者数 | 生産額 (千ユーロ) | 輸出額 (千ユーロ) | 面積(ha) | 雇用者数 |
|-----|-------|---------------|---------------|--------|--------|
| 果樹 | 850 | 285,847 | 109,769 | 5,000 | 28,000 |
| ぶどう | 500 | 152,800 | 60,140 | 6,500 | 6,000 |
| 計 | 1,350 | 438,647 | 169,909 | 11,500 | 34,000 |

| 樹種 | 国認証苗 (千本) | CAC認証 苗 (千本) | 計 (千本) | 苗木単価 (ユーロ) | 販売額 (千ユーロ) | 輸出割合 (%) | 販売額 (千ユーロ) |
|---------|--------------|--------------------|-----------|---------------|---------------|-------------|---------------|
| 核果類 | 1,221 | 18,000 | 19,221 | 4.16 | 79,960 | 35 | 27,986 |
| りんご・なし | 4,941 | 22,000 | 26,941 | 4.00 | 107,766 | 35 | 37,718 |
| キウイフルーツ | | 2,500 | 2,500 | 2.50 | 6,250 | 30 | 1,875 |
| 柑橘 | 189 | 2,500 | 2,689 | 8.00 | 21,511 | 10 | 2,151 |
| オリーブ | 40 | 3,000 | 3,040 | 6.00 | 18,239 | 35 | 6,384 |
| その他 | | 1,500 | 1,500 | 4.00 | 6,000 | 30 | 1,800 |
| 果樹台木 | 36,501 | 10,000 | 46,501 | 0.70 | 32,551 | 40 | 13,020 |
| イチゴ | 247,411 | 80,000 | 327,411 | 0.24 | 78,578 | 60 | 47,147 |
| その他ベリー類 | | 2,500 | 2,500 | 1.10 | 2,750 | 70 | 1,925 |
| 計 | 290,303 | 142,000 | 432,303 | 31 | 353,605 | 345 | 140,006 |

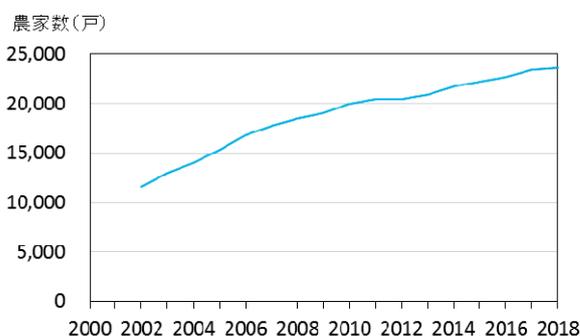
出所：Italian Society for Horticultural Science. (2018)³⁵⁾ より作成

CIV (Consorzio Italiano Vivaisti、イタリア苗木業コンソーシアム) は、1983年に3つの苗木業者により設立された団体であり、ボローニャ大学とも連携しイチゴ、りんごの育種も行っている³⁷⁾。りんごクラブ製品種の Modi、Rubens を育成している。

アグリツーリズムが盛んである

イタリアのアグリツーリズム農家数は23,615で、トスカーナ州4,620、ボルツァーノ自治県3,185等の北部の州で多い(図18)。2015年統計におけるアグリツーリズムの農家割合はイタリア全体では1.4%、ボルツァーノ自治県15.5%、トレント自治県2.1%、トスカーナ州6.2%、シチリア州0.3%である。女性経営者の割合はイタリア全体で36.3%、トスカーナ州は38.9%、ボルツァーノ自治州では13.3%と比較的少ない。

ボルツァーノ自治州では、農家収入の10%がアグリツーリズムの宿泊費であり、農業とツーリズムが密接な関係にある³⁸⁾。アグリツーリズムをアピールするためにも、農業は自然環境、景観への配慮が求められる。第1回アグリツーリズム世界会議は、ボルツァーノで開催 (EURAC Research 主催) された。



出所：ISTAT³³⁾ より作成

図 18 イタリアにおけるアグリツーリズム農家数の推移と州別分布



地理的表示の登録数が多い

イタリアは世界的に見ても地理的表示登録件数が最も多い(表6)。農産品・食品、生産・加工の果樹・野菜・穀類、ワインいずれも最多である。その理由は、南北に長く環境が多様であり、地域ごとに高品質で伝統的な農産物・食品が多く、消費者の信頼を得ることができ輸出にも役立っていることが挙げられる。

表6 欧州の地理的表示等の登録件数

| 農産品・食品(件数) | | | | | ワイン(件数) | | | | |
|------------|------------------|------------------|-------------------|-----|---------|------------------|------------------|-----|--|
| 国名 | 原産地呼称制度 (PDO) | 地理的表示保護 (PGI) | 伝統的特産品保護 (TSG) | 計 | 国名 | 原産地呼称制度 (PDO) | 地理的表示保護 (PGI) | 計 | |
| イタリア | 167 | 130 | 2 | 299 | イタリア | 406 | 118 | 524 | |
| フランス | 105 | 144 | 1 | 250 | フランス | 360 | 75 | 435 | |
| スペイン | 102 | 90 | 4 | 196 | ギリシャ | 33 | 114 | 147 | |
| ポルトガル | 64 | 74 | 1 | 139 | スペイン | 96 | 42 | 138 | |
| ギリシャ | 76 | 31 | 0 | 107 | ドイツ | 18 | 26 | 44 | |
| ドイツ | 12 | 79 | 0 | 91 | ポルトガル | 30 | 10 | 40 | |
| イギリス | 27 | 42 | 4 | 73 | イギリス | 3 | 2 | 5 | |

| 生鮮・加工の果樹・野菜・穀類(件数) | | | | |
|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-----|
| 国名 | 原産地呼称制度 (PDO) | 地理的表示保護 (PGI) | 伝統的特産品保護 (TSG) | 計 |
| イタリア | 36 | 76 | 0 | 112 |
| スペイン | 22 | 34 | 0 | 56 |
| フランス | 25 | 37 | 0 | 62 |
| ポルトガル | 27 | 18 | 0 | 45 |
| ギリシャ | 15 | 13 | 0 | 28 |
| ドイツ | 2 | 21 | 0 | 23 |
| イギリス | 3 | 6 | 0 | 9 |

PDO: 生産、加工、調製すべての工程がその地域で行われる。
 PGI: 生産、加工、調製のうち少なくとも一つがその地域で、
 ワインでは原料ぶどうの少なくとも85%がその地域で。
 TSG: 蒸留や調製のうち少なくとも一つがその地域で、原料は
 その地域でなくてもよい。

出所: EU 地理的表示検索システム, eAmbrosia,
 DOOR^{40, 41)} の検索結果 (2019.11.27) より作成

以上、イタリアは欧州有数の果樹大国であるだけでなく、有機果樹栽培、苗木産業、アグリツーリズム、地理的表示等、特色のある果樹栽培を行っている。そこには、栽培面積が小さくても、強みを活かしながら多様な取組により競争力を高めていることがうかがえる。

引用・参考文献

- EU. Eurostat.
- 農林水産省. 平成29年産果樹生産出荷統計.
- 農林水産省. 平成28年産特産果樹生産動態等調査.
- Italy. ISTAT.
- Willer, H. & Lernoud, J. (Eds.) (2019). The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2019. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, and IFOAM-Organics International. Bonn.
- Italian Society for Horticultural Science. (2018). Harvesting the sun Italy. http://www.soih.it/public/HtSIItaly_website%20version.pdf.
- CIVI – Italia. The role of the Italian nursery association in the framework of the Italian certification scheme.
- CIV at INTERPOMA Bolzano 2018. <https://actualfruveg.com/2018/11/29/civ-at-interpoma-bolzano-2018/>
- ISTAT. Agritourism farms in Italy.
- Fischer, C. (2019). Agriculture and tourism sector linkages: Global relevance and local evidence for the case of South Tyrol. *Open Agriculture*. 4: 544-553.
- European Commission. eAmbrosia - the EU geographical indications register.
- European Commission. DOOR

3. 南チロルのりんご栽培とスマート農業

1) 南チロルの概要

トレンティーノ＝アルト・アディジェ自治州は、トレント自治県とアルト・アディジェ自治県（ボルツァーノ自治県）からなる。アルト・アディジェ（Alto Adige）は、アディジェ上流を意味し、ドイツ語で Südtirol（南チロル）と呼ばれる。アディジェ川は、ポー川に次ぐイタリアで 2 番目に長い川である。ボルツァーノ自治県は、自治州の北側の県でイタリア最北端に位置し、北はスイス、オーストリアに接する。ボルツァーノ自治県の人口は 52 万人、ボルツァーノ市の人口は 11 万人である。

ボルツァーノ自治県（南チロル）の面積は、7,400km²(74 万 ha) であり、熊本県（7,409km²）とほぼ同じであり、青森県（9,646km²）より小さい。農業従事者は全体の 5% である。りんご面積（18,540ha）は、自治県全面積の 2.5% であり、青森県（20,800ha）よりやや少ない。平均栽培面積は 2.5～3 ha である。りんご収穫量は、110 万トンでイタリアの 50%、EU の 10～12%、EU 有機りんごの 40% を占めている。りんご生産者数は 7,275 であり、農場主の 1/5 は 65 歳を超えている。



醸造用ぶどうについては、生産者数 4,779、栽培面積 5,300ha、平均栽培面積 1 ha であり、イタリアワイン生産の 0.75% に過ぎないが、高級ワインで有名である。

言語グループの構成は、ドイツ語 69.4%、イタリア語 26.1%、ラディン語 4.5% であり、文化的にはドイツ語圏の影響が強い。

引用・参考文献

42. Autonome Provinz Bozen. <http://geokatalog.buergernetz.bz.it/geokatalog/#>.
43. South Tyrol in figures 2018. [https://astat.provincia.bz.it/downloads/Siz_2018-eng\(1\).pdf](https://astat.provincia.bz.it/downloads/Siz_2018-eng(1).pdf).
44. Business Location Sudtirol (2015). South Tyrol Food Technology. http://development.idm-suedtirol.com/upload/file/BLS_food_technology_brochure.pdf.

2) りんご産業の歴史と関連組織

南チロルのりんご産業は、EIP-AGRI を先取りした成功例ともいえるものであり、LINSA (Learning and Innovation Network for Sustainable Agriculture) の代表例とされている⁴⁵⁾。LINSA は、生産者、生産組合、研究、普及指導、公共機関、民間等を含む高度で適応力のあるシステムで、新しい知識の交換または開発、技術革新を目指す連携ネットワークである。

南チロルのりんご生産における樹形、気象災害防止、環境保全型栽培、貯蔵等の技術的変遷と関連組織の設立・活動状況を年代別に示した（表 7）。

1945 年に果樹生産組合、1957 年に普及サービス組織、1962 年にラインブルグ専門学校（1976 年にラインブルグ研究所）を設立し、これらが密接に連携しながら各年代の課題に対応してきた。周辺国への移住者増加による労働力不足、りんご生産過剰や価格低迷のなかで、スレンダースピンドル仕立てを

導入し、その後トールスピンドル仕立てに発展させながら、顕著な単収増、労働時間削減を実現させている。霜害防止のための散水氷結法、増加した生産量を有利に販売させるための貯蔵技術、薬剤抵抗性への対応から始まり環境保全にも配慮した環境保全型ガイドラインの策定等、新たな技術の開発・革新が連携ネットワークの中から生まれている。

表 7 南チロルのりんご産業の歴史とトピックス

| 年 | トピックス |
|----------------------|--|
| 1945(第2次世界大戦終結)～1960 | 1945年、果樹生産組合VOG設立、Bauernbund再設立 果樹生産は伝統的で、収穫はハシゴ利用で小型の木箱に収納 栽植密度30本/10a、2.5トン/10a生産するのに100時間以上の労働 1950年、散水氷結法による防霜対策導入 1957年、50の生産者が独立した普及サービス組織(Beratungsring)の設立決定 |
| 1961～1971 | 南チロルから周辺国への移住者増加(年間1,000人)により労働力不足・労賃の増加 1966～1979の欧州園芸部門危機(りんご生産過剰・消費低迷による価格低迷) 1962年、ラインブルグ専門学校設立、その後1967年に園芸研究も開始、普及サービス組織の拡充 1968年、普及組織がオランダでスレンダースピンドル仕立て(わい台、高密植)を勉強、その後徐々に拡大 2.7トン/10a生産するのに85時間労働 1972年、増加した生産物を有利に販売するためラインブルグ専門学校で貯蔵研究施設設置 1970年以降、新生産方式・貯蔵に適する品種への更新、選果装置の導入 |
| 1972～1990 | 1972年に自治権確立 1976年ラインブルグ研究所設立 環境保全型果樹栽培への機運(薬剤抵抗性、経営的メリット)、普及組織がIPMの冬季講習 1988年、AGRIOSにより環境保全型果樹栽培ガイドライン規定 1990年までに1,6000haが新生産方式 4.2トン/10a生産するのに65時間労働 |
| 1991～2001 | スーパーマーケットの影響力の増加に対応した貯蔵・加工設備の近代化 2002年にほとんどの果樹園がスレンダースピンドル方式 5.5トン/10a生産するのに45時間労働 、Mela Alto Adige (IFP) 1998年、第1回Interpoma開催 1991年、ラインブルグ研究所とIsolcellがDCA研究開始 2002年、Variety Innovation Consortium設立 |
| 2000年代 | トールスピンドル方式 |

出所：Apple-Producing Family Farm in South Tyrol⁴⁵⁾ より作成

南チロルりんご産業に関係する団体・組織は表8の通りである。多くの団体があり、生産組合、普及、研究、関連組織が連携して南チロルのりんご産業を支えていることがうかがえる。

後継者育成については、果樹園芸専門学校、国立農業高等学校があり、さらに職業教育・訓練講座として専門学校や南チロル農民同盟が行う各種講座がある⁴⁶⁾。

Interpoma2019は中国で開催され、南チロルの技術を中国へ導入する動きも進んでいる。

表 8 南チロルの果樹関連の団体・組織

| 組織 | 目的 | その他情報 |
|--|--------------------------|---|
| AGRIOS (Workgroup for Integrated Fruit Production in South Tyrol) | 南チロルの環境保全型果樹生産の作業グループ | 1977年設立、非営利民間団体 |
| Bauernbund | 農民組合 | 1904年設立、21,000会員 |
| Beratungsring | 民間独立の普及組織 | 1957年設立、予算320万ユーロ(70%農民、30%地方政府) |
| Cooperatives | 果実の貯蔵、販売、加工 | 南チロルの23組合、95%農家加入 |
| Federation of cooperatives | 果樹生産組合 | VOG: 1945年設立、傘下に16組合、面積10,700ha、りんご生産73.5万トン VI.P: 1990年設立、傘下に7組合、面積5,110ha、りんご生産28.4万トン |
| Industry and services | 民間企業 | Isolcell: DCA貯蔵のトップランナー Frutop: 防雹ネット等 |
| Laimburg Research Station | ラインブルグ研究所 | 1976年設立、予算(地方政府40%、その他に農家・組合へのサービス、自前でのりんご生産(ほ場250ha))、Laimburg Journal(普及専門誌) |
| Landes Konsortium für den Schutz voe Witterungsunbilden | 気象災害防止(災害保険) | 2004年設立、りんご生産者の95%、ぶどう生産者の75%加入 |
| Producers | 果樹生産者 | |
| South Tyrol | 南チロル自治州 | |
| Trade and Knowledge Fairs | 展示会・知識交換会 | Interpoma2018(りんご関係、参加者2万人、24か国から489出展者) |
| Konsortium der Südtiroler Baumshule (KSB) | 苗木生産コンソーシアム | 州法により設立された組織で苗木の繁殖販売。メンバーであるGRIBA(4果樹生産者で設立された苗木組合)は、年間800~1,000万本の苗木を生産 |
| Variety Innovation Consortium (SK) | 品種の導入、試験、新品種推進を行うコンソーシアム | 2002年設立の非営利団体、ラインブルグ研究所、普及組織と連携 |
| Free University of Bozen-Bolzano | ボルツァーノ自由大学 | 農業科学、食品科学の基礎研究 |

出所: Apple-Producing Family Farm in South Tyrol⁴⁵⁾ より作成、一部追加

南チロルのりんご産業の強みについて、長く普及専門家であったヴェルツ氏は以下のように整理している^{47,48)}。

- ・栽培面積が小さいことによる集約栽培
- ・イタリア政府による農業推進政策、低い税負担
- ・地方自治政府の広範な権限
- ・よく組織された研究所、普及組織
- ・農地をそのまま子供に継承するため農地を分割できないようにする法律(半分の農家はその対象)
- ・EUの農業支援
- ・強力な組合の伝統
- ・欧州の中央に位置する地理的条件
- ・リンゴの加工場が一箇所に集中

この中では、栽培面積が小さいことを集約栽培により強みにしていることが注目される。生産者が小規模でも、組合として強気に連携し、関連機関と密接に連携しながら、高生産力、高品質、有利販売を実現していることがうかがえる。

小池（2017）によると、農地については土地改良政策や灌漑事業の成果として高度に土地利用がなされ、地価は1億円/haもするほど高価である⁴⁹⁾。また、農地は主に世襲によって引き継がれ、ほぼ100%の後継者が確保されているという。

引用・参考文献

45. de Meyer, J. (2013). Apple-Producing Family Farm in South Tyrol: SOLINSA show case report. http://www.solinsa.org/fileadmin/Files/deliverables/LINSA_Reports/Italy_show_case_report.docx.pdf.
46. 大友由紀子, 中道仁美. (2017). 欧州南部ドイツ語圏における女性農業者を対象とした職業教育・訓練制度の比較研究. 十文字学園女子大学紀要. 47: 105-118.
47. Werth, K. (2003). The latest apple production techniques in south Tyrol, Italy. *The Compact Fruit Tree*. 36(2):50-51.
48. Lehnert, R. (2015). Italy's growing heritage: 2014 IFTA Italy. *Good Fruit Grower*. Jan.7.
49. 小池洋男. (2017). りんご高密度栽培. イタリア・南チロルの多収技術と実際. 農文協.

3) りんご栽培技術

南チロルの主なりんご栽培品種は、ゴールデンデリシャス、ガラ、レッドデリシャス、ふじ、グラニースミス、クリプスピンク等である（表9）⁵⁰⁾。その他多様な品種が栽培され、クラブ制品種も多い。近年、長野県育成のシナノゴールドも導入されている。新しい品種の導入、評価試験には、Variety Innovation Consortium が担当している⁵¹⁾。

栽培面積と収穫量から単収を計算すると、多くの品種が10a当たり5トンを上回っている。なかには、6トンの品種もあり、生産性が極めて高い。これには、トールスピンドルの高密度植栽培を含めた総合的な栽培技術によるところが大きい⁵²⁾。台木はM9を利用し、栽植本数333~410本/10aで、列間3m、樹間0.8~1mで、光利用効率を高め、おとなしい樹勢で高品質果実生産を目指している⁵³⁾。

表9 南チロルのりんご品種の面積、収穫量、単収

| 品種 | 面積(ha) | 占有率(%) | 品種 | 収穫量(t) | 占有率(%) | 単収(t) |
|--------------------|--------|--------|--------|---------|--------|-------|
| ゴールデンデリシャス | 5,833 | 31.7 | ゴールデン | 319,641 | 32.4 | 5.5 |
| ガラ | 3,811 | 20.7 | ガラ | 146,968 | 14.9 | 3.9 |
| レッドデリシャス | 2,266 | 12.3 | レッドデリシ | 100,599 | 10.2 | 4.4 |
| ふじ | 1,273 | 6.9 | グラニース | 71,744 | 7.3 | 5.7 |
| グラニースミス | 1,266 | 6.9 | プレーバー | 53,632 | 5.4 | 5.8 |
| クリプスピンク(Pink Lady) | 1,053 | 5.7 | クリプスピン | 53,404 | 5.4 | 5.1 |
| プレーバーン | 926 | 5.0 | ふじ | 43,222 | 4.4 | 3.4 |
| ニコター(Kanzi) | 481 | 2.6 | モルゲンダ | 8,569 | 0.9 | 6.1 |
| ピノバ | 372 | 2.0 | ジョナゴー | 4,925 | 0.5 | |
| サイレント(Envy) | 147 | 0.8 | ワインサッ | 3,434 | 0.3 | 6.9 |
| モルゲンダフト | 139 | 0.8 | イダレッド | 706 | 0.1 | 2.8 |
| ジョナゴールド | 108 | 0.6 | エルスター | 171 | 0.0 | |
| トパズ | 66 | 0.4 | グロスター | 19 | 0.0 | |
| ロホ(Evelina) | 62 | 0.3 | ジョナサン | 9 | 0.0 | |
| スタイマン ワインサッ | 50 | 0.3 | その他 | 62,954 | 6.4 | |
| シナノゴールド(Yello) | 38 | 0.2 | 小計 | 869,997 | | |
| イダレッド | 25 | 0.1 | 加工用 | 116,963 | 11.9 | |
| シブニ(Rubens) | 22 | 0.1 | 総計 | 986,960 | 100 | |
| エルスター | 9 | 0.0 | | | | |
| その他 | 466 | 2.5 | | | | |
| 計 | 18,410 | 100 | | | | |

出所：Autonome Provinz Bozen 資料2018⁵⁰⁾より作成

南チロルのりんごの96%はIP (Integrated Production、総合生産)、4%は有機栽培とされている。IPとは、1) 天然資源の持続可能性を考慮するとともに、肥料、農薬等を十分に配慮して使用する。2) 人の健康と環境への配慮に焦点を当てた自然的、持続的栽培方法を行う。3) 化学合成剤の使用を最低限に、肥料を効率的に使用する、栽培である。IPM (Integrated Pest Management、総合的有害生物管理) はIPの一部であり、病害虫と雑草に焦点を当てている⁵⁴⁾。

IPりんごとして出荷するためには、AGRIOS (Workgroup for Integrated Fruit Production in South Tyrol) のガイドラインに従う必要がある⁵⁵⁾。AGRIOSの目的は、環境に優しく、消費者の立場を考慮した南チロル果物の栽培・貯蔵・マーケティングを行うことであり、特に、生態的持続可能な南チロル果物栽培の推進である。毎年始めに、AGRIOSプログラムに参加する生産者、販売者は参加申込を書面で提出する。ガイドライン、法令に合致している果実にだけ、IPラベルの使用が可能となる。

ガイドラインには、教育訓練参加、果樹園周辺の緩衝帯5%、開園時の配慮、施肥(土壌分析必要)、下草管理、灌水、農薬、貯蔵、ハチの保全、園地登録に関する規定がある。すべての関連情報は記帳され、それを独立した視察団が確認することになっている。

IP特に虫害管理に、IPMの考えが導入されたきっかけは、害虫の薬剤抵抗性の発達である^{56,57)}。薬剤抵抗性の発生年は、ハダニ(1964,1982)、キンモンホソガ(1969,1988)、ナシキジラミ(1973)である。そのため、有効薬剤がない、農薬コストの上昇、収量・品質の低下、環境悪影響等により、消費者からの批判、イメージ低下が懸念された。ハダニの薬剤抵抗性のため通常防除は1982年が最後であり、1983年からIPMの取り組みが開始され、1988年にAGRIOS(ワーキンググループ)設立、1989年にガイドラインが作成された。

コドリングは、多くの国でりんご栽培の最重要害虫である⁵⁸⁾。コドリングの防除には昆虫成長制御剤(IGR)が使われてきたが、1992年には広範囲に薬剤抵抗性が広がった。1992年に南チロルで、IPにおけるフェロモンや情報化学物質に関する国際会議が開催され、これが交信攪乱法に取り組む契機となった。交信攪乱法を推進することにより、有機リン剤の不使用、薬剤抵抗性の回避、クリーン農業のイメージ促進、旅行産業に対する自然環境価値の強化等に結びついた。南チロルは、小規模農家が多く傾斜地であるため交信攪乱法には不向きとされていた。しかし、生産者、普及機関、民間が研究開発に参画し、専門家の指導の下、全体的な取組を連携して実施したことから、広範に普及し成功を収めた。しかし、イタリアの他の地域では、こうした連携協力がなかったため成功していない。

ぶどうのハマキガ類(European grapevine moth、European grape berry moth)についても、同様に交信攪乱法が成功を収めている⁵⁹⁾。

EUでは2009年の農薬の持続的使用に関する指令で、健康・環境影響のリスク低減、IPMや化学農薬によらない手法、技術の推進を制定している。2017年には、この指令の実行が不十分として、指令の徹底・強化を求める報告書を発表している。

有機りんご栽培

有機りんご栽培では、品種、台木の選択が重要である⁶⁰⁾。黒星病には抵抗性品種であるTopaz、Santana、Ariwa、Natyra等を利用する。肥料は、有機肥料、堆肥を使用し、草生管理は機械除草を行う。病害管理では、黒星病、うどんこ病、すす班病が重要であり、銅剤、石灰硫黄合剤を利用する。銅には年間使用量制限があり、イタリア6kg/ha、スイス1.5kg/haとなっている。害虫管理には、天敵(生物多様性)の維持、ネット被覆、交信攪乱法等を利用する。摘蕾摘果には、機械せん定や石灰硫黄合剤が利用され、遮光資材による落果促進の試験も行われている。

有機栽培では有効な農薬に限られる、銅剤も将来的にはさらに使用制限が進む見込みであり、一方、気候温暖化やグローバリゼーションにより病虫害の発生が増加することが懸念されている。そこで、ネット栽培が試験され、病虫害対策、ドリフト防止に有効な結果も得られている⁶¹⁾。しかし、必要労力、収益性、景観、プラスチック使用量増加（カーボンフットプリント）等が課題となっている。

雹害対策

イタリア、特に北部（ポー川周辺、南チロル含む）は、世界的に見ても雹害が特に多い地域であり年間35～50日の降雹がある^{62,63)}。南チロルでは雹害モニタリングネットワーク（果樹地帯等に2km間隔で観測点）がある。雹害リスクが高いことから、雹害防止コンソーシアム（果樹共済）が設置され、防雹ネット（多目的防災網）の設置が増加している。

果樹共済と防雹ネットについて、モデルで経済性の検討が行われ、雹害リスクの高い南チロルでは、防雹ネットが有利の場合が多い⁶⁴⁾。

Frutop（TIS Innovation network から生まれた新興企業）は、インターネットによる各種災害の対策システム（雹、日焼け、雨）を開発し、世界進出を果たしている。

霜害対策

南チロルでは、雹害と並んで霜害も大きな問題である⁶⁵⁾。普及組織が会員向けにスマホの気象アプリを提供し、生産者は最寄りの気象データ・霜害危険警報を受信できる（果樹栽培地帯に約150の観測点）⁶⁶⁾。霜害対策として、散水氷結法が1950年に成功し、1958年には4000haに拡大した。スプリンクラー間距離は16m以内、ノズルは毎分1回以上、散水量4mm/時以上としている。

温暖化により開花時期は確実に早まる傾向である。りんごの晩霜害危険度がどうなるかについては、樹種、地域、休眠・開花モデルにより異なる^{67~70)}。

貯蔵技術

貯蔵りんごの88%はCA（Controlled Atmosphere）であり、DCA（Dynamic CA）は21.8%である⁷¹⁾。DCAには、DCA-CF（果皮のクロロフィル蛍光で酸素濃度限界（無気呼吸の補償点）を検知して制御）、ILOS+（低酸素濃度+時々果肉組織サンプリングでエタノール調査）、DCA-ethanol（非破壊でエタノール濃度を検知して制御）がある^{72~74)}。DCA-CFは、カナダのグループが開発し、実用化研究をラインブルグ研究所と行い、南チロルのISOLCELL社が市販している。

貯蔵りんごではヤケ症が問題であり、DPA（ジフェニルアミン、殺虫剤）が有効である。しかし、EUではDPAの使用が禁止され、その対応としてDCA、1-MCPの普及が拡大している⁷²⁾。

温暖化影響評価

南チロルの民間研究機関 EURAC Research は、南チロルの温暖化影響評価を取りまとめている⁷⁵⁾。それによると、年平均気温は1960年代より1.5℃上昇、2100年までに5℃上昇の可能性（RCP4.5シナリオ）がある。

温暖化により、すでにりんご、ぶどうの栽培が標高の高いところにまで拡大している。灌水の60%は果樹園で使用されるが、夏季の乾燥が進むと必要灌水量が増加する。冬季の気温が高くなると、雪でなく雨で降ることから積雪量が減少し、夏季の水資源の減少が懸念される。

対応策としては、節水、交通系排ガス抑制、観光分野排ガス抑制（公共交通利用、レンタル電気自動車）が挙げられている。

環境負荷評価、環境製品宣言

南チロルとトレント自治州の4組合 (VOG、 V.I.P、 Melinda、 La Trentia) で、イタリアりんご生産者協会の90%を生産している。この4組合は、生産、選果・貯蔵、パッケージング、輸送における環境インパクト評価を行い、環境製品宣言 (Environmental Product Declaration) を出している⁷⁶⁾。

生産段階のカーボンフットプリントは、圃場機械 25%、灌水システム 14%、燃料 29%、肥料 12%、農薬 10%となっている⁷⁷⁾。圃場機械、燃料のカーボンフットプリントを下げるには、機械への依存度を減らす、収量を上げる必要がある。

引用・参考文献

50. Autonome Provinz Bozen. Relazione agraria & forestale 2018.
51. Brandlwater, M. (2017). Variety Innovation Consortium South Tyrol.
52. Hansen, M. (2011). Why Italian orchards are so productive. *Good Fruit Grower*. Jan. 15.
53. 小池洋男. (2017). りんご高密度植栽培. イタリア・南チロルの多収技術と実際. 農文協.
54. EU. (2009). Development of guidance for establishing Integrated Pest Management (IPM) principles. final report.
55. AGRIOS. Guidelines for Integrated Pome Cultivation 2018.
56. Avilla, J., & Riedl, H. (2003). Integrated fruit production for apples—principles and guidelines. In: Ferree, D.C. & Warrington, I.J. (ed.) *Apples: Botany, Production and Uses* (pp. 539-549). CABI.
57. Oberhofer, H. (1993). Integrated fruit production - the experience of South Tyrol. *Acta Horticulturae*. 347:25-32.
58. Ioriatti, C. & Andrea L. (2016). Semiochemical strategies for tortricid moth control in apple orchards and vineyards in Italy. *Journal of chemical ecology*. 42(7): 571-583.
59. Lucchi, A., & Benelli, G. (2018). Towards pesticide-free farming? Sharing needs and knowledge promotes Integrated Pest Management. *Environmental Science and Pollution Research*. 25(14):13439-13445.
60. Kienzle, J. (2017). Growing organic apples in Europe. In: Evans, K. (ed.). *Achieving sustainable cultivation of apples* (pp. 551-577). Burleigh Dodds Science Publishing.
61. Kelderer, M., et al. (2018). Field trials in apple orchards with different covering methods to reduce plant protection treatments and yield losses due to pests and diseases. *Proceedings of the 18th International Conference on Organic Fruit-Growing*.
62. Morgan Jr, G. M. (1973). A general description of the hail problem in the Po Valley of northern Italy. *Journal of Applied meteorology*. 12(2): 338-353.
63. Eccel, E. et al. (2012). Quantitative hail monitoring in an alpine area: 35 - year climatology and links with atmospheric variables. *International journal of climatology*. 32(4):503-517.
64. Rogna, M. et al. (2019). Modeling the Switch from Hail Insurance to Anti-Hail Nets. <https://ssrn.com/abstract=3424071> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3424071>.
65. Rossi, F. et al. (2002). Meteorological and micrometeorological applications to frost monitoring in northern Italy orchards. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 7(23-24): 1077-1089.

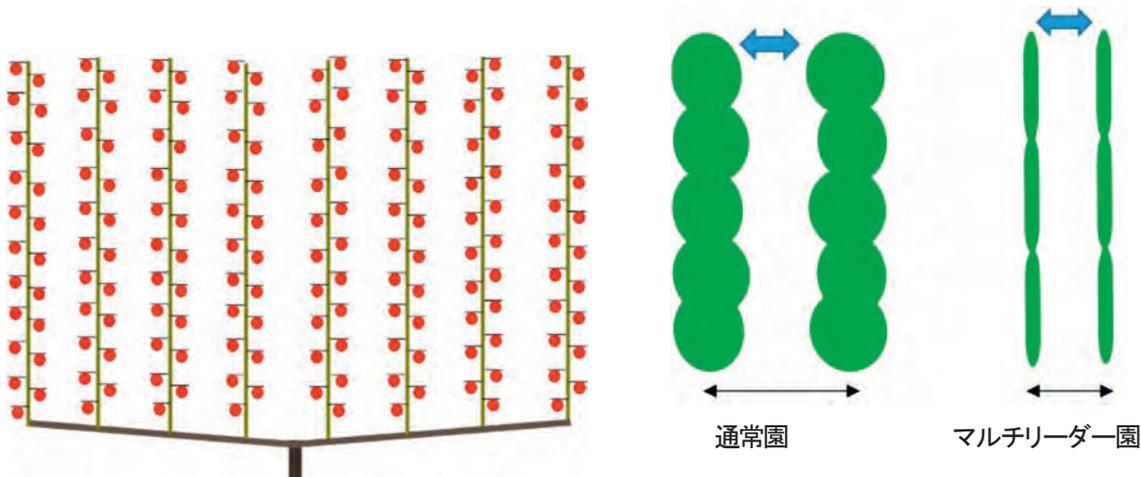
66. Beratungsring.org. Meteorologie.
<https://www.beratungsring.org/info/organisation/meteorologie.html>.
67. Tomkowicz, M. A. (2014). Frost Prediction in Apple Orchards Based upon Time Series Models.
https://pro.unibz.it/library/thesis/00002320S_30849.pdf
68. Eccel, E. et al. (2009). Risk of spring frost to apple production under future climate scenarios: the role of phenological acclimation. *International journal of biometeorology*. 53(3): 273-286.
69. Ma, Q. et al. (2019). Divergent trends in the risk of spring frost damage to trees in Europe with recent warming. *Global change biology*. 25(1): 351-360.
70. Unterberger, C. et al. (2018). Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate. *PLoS one*. 13(7), e0200201.
71. Thompson, A. K. et al. (2018). Dynamic CA storage. In Thompson, A. K. (eds) *Controlled Atmosphere Storage of Fruit and Vegetables 3rd Ed* (pp. 125-142). CABI, Boston.
72. Watkins, C. B. (2017). Advancing in postharvest handling and storage of apples. In: Evans, K. (ed.) *Achieving sustainable cultivation of apples* (pp. 219-262). Burleigh Dodds Science Publishing.
73. Prange, R. K. et. al. (2013). A review on the successful adoption of Dynamic Controlled-Atmosphere (DCA) storage as a replacement for diphenylamine (DPA), the chemical used for control of superficial scald in apples and pears. *Acta Horticulturae*. 1071: 389-396.
74. Zanella, A., & Rossi, O. (2015). Post-harvest retention of apple fruit firmness by 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment or dynamic CA storage with chlorophyll fluorescence (DCA-CF). *European Journal Horticultural Science*. 80(1): 11-17.
75. EURAC Research. (2018). Climate change and the consequences for South Tyrol.
76. Assomela. Italian apples, Environmental product declaration.
<https://www.environdec.com/Detail?Epd=8793>
77. Sessa, F. et al. (2014). Life Cycle Assessment of apples at a country level: the case study of Italy. *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014)*, San Francisco, CA, USA.

4) スマート農業、精密栽培

マルチリーダー樹形

今後のりんご栽培の方向は持続可能性が重要であり、収量・品質を向上させながら、化学物質・労力を削減し、経済的・生態的な持続可能性を推進することが求められる。また、機械、燃料の使用を少なくする方向の一つとして、低樹高がある。例えば、高所作業台車を使わない、ハシゴや脚立も使わない低樹高栽培である。収量・品質の維持・向上には、壁面樹形で通路を狭くするのも有効である。

こうした方向として、世界的に注目されているのがマルチリーダー樹形である(図20)。この樹形は、バイアクシス苗木の2本主枝を両側に伸ばし、そこから垂直に結果母枝を伸ばす。長い結果枝は作らずに、着果させる。薄い壁面的な樹形であるので、通常園と同じ通路幅でも、列間を狭めることができる。イタリアではトレント自治州のエドムンドマッハ財団(Fondazione Edmund Mach、研究・教育・技術移転機関)のDorigoni氏が推進している。パレルモの国際園芸学会でも、ニュージーランドのグループがマルチリーダー樹形の発表を行った。ニュージーランドのグループは、プラナーコルドン樹形と呼んでいる。



出所：Dorigoni, Tustin の資料^{80, 82)}より作成
 (左：横から見たりんご樹、赤は果実 右：上から見たりんご園)

図 20 りんごマルチリーダー方式の樹形と園地の模式図

Dorigoni (2018) では、植栽は2種類あり、pedestrian 方式では 樹間2m×列間2m 樹高2m、semi-pedestrian 方式では 樹間2m×列間2.5m 樹高2.5m である⁸⁰⁾。樹高を低くすることで、脚立や高所作業台車を使わないで済み、経済性を高め環境影響を少なくできる。

ニュージーランドの Tustin (2018) では、樹間3m×列間1.5(2)m 樹高3.5m であり、最大収量を目指している⁸¹⁾。プラナーコルドン樹園の遮断日射量60%で収量は、10~12 トン/10a である。

マルチリーダー樹形の利点、欠点・課題を整理すると表10のようになる^{78~83)}。利点としては、多収、品質の均一化、作業性がよい、機械化がしやすい、リーダー（結果母枝）数で樹勢調整が可能、苗木の本数が少ない等がある。欠点・課題としては、初期収量が低い、苗木育成難、強いトレリス必要等がある。長期的な評価が不十分であるが、最近、ミシガン州立大学 Schwallier は樹形システムの利益を調べ、マルチリーダー>Vシステム>スピンドルでマルチリーダーの優位性を認めている⁸⁴⁾。

表 10 マルチリーダー樹形の利点、欠点・課題

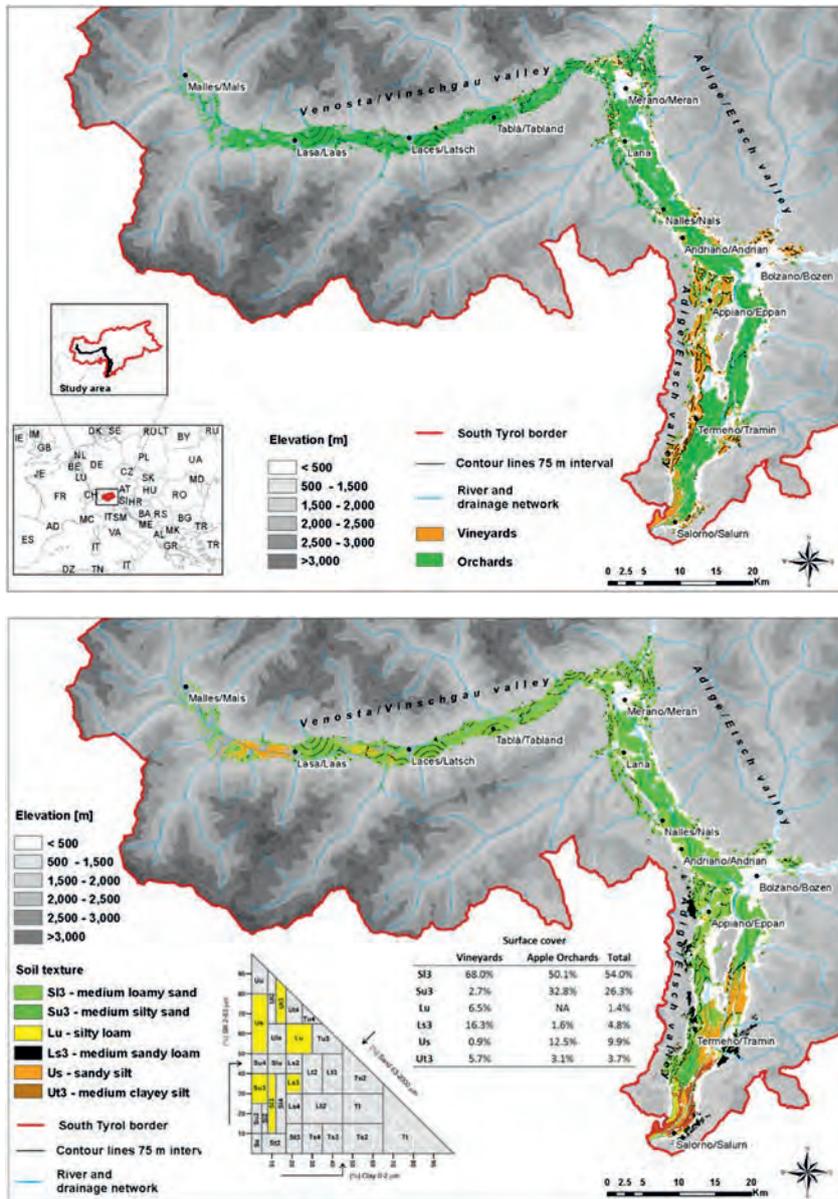
| | |
|-------|---|
| 利点 | 樹間構造が効率的で単純 光透過、光分布の均一化 収量最大化の可能性 果実の大きさ、着色の均一化 必要な苗木本数少ない リーダー（結果母枝）の本数で樹勢調整可能 せん定、摘果、収穫がしやすい（低樹高にすれば脚立不要） 機械化がしやすい（せん定、除草、摘葉、収穫ロボット、トンネルスプレーヤ） 植物生長調整剤、薬剤の散布量・ドリフトが少ない 幅が狭く、多目的ネット（雹、日焼け）を利用しやすい |
| 欠点・課題 | 初期の収量が低い バイアクシス苗木の育成に手間がかかる 誘引作業に時間がかかる 直立する着果枝を支える強いトレリスが必要 長期的な評価が不十分（樹形の維持が可能か？） 狭い列間に合わせた機械の小型化 |

出所：Dorigoni, Tustin, Sazo の資料^{78~83)}より作成

果樹園土壌のデジタルマッピング

果樹栽培では土壌条件が重要である。土壌分析研究データは、通常、農家に直接還元されない。南チロルのりんご栽培ではAGRIOSを実施しており、5年ごとの土壌分析が必須となっている。土壌サンプルの70%はラインブルグ研究所で実施している。分析項目は、土性、密度、有機物含量、pH及び無機成分（リン、カリ、マグネシウム、ホウ素、マンガン、銅、亜鉛）である。サンプリング数は、りんごは15,425地点、ぶどうは714地点である。これら分析データをもとに、土性、有機物含量、pH等の精密土壌マッピングが行われている（図21）^{85,86}。

土壌の化学性、物理性およびその空間分布は、生産者、土地管理者、政策立案者に持続的農業を効率的に推進する上での重要な情報となっている（図22）。



出所：Della Chiesa, S. et al. (2019). Farmers as data sources: Cooperative framework for mapping soil properties for permanent crops in South Tyrol (Northern Italy). *Geoderma*.342: 93-105.⁸⁵⁾ より引用

図 21 南チロルの果樹園分布（上）と土性分布（下）

需要主導型共同の枠組み



出所：Della Chiesa, S. et al. (2019)⁸⁵⁾ より作成

図 22 南チロル果樹園土壌のデジタルマッピング作成とアウトプットのフロー

MONALISA プロジェクト

南チロルでは、果実1個のレベルから、樹体、樹園地、地域全体の各レベルでモニタリングする MONALISA プロジェクトが行われている⁸⁷⁾。参画機関は、いずれも南チロルにある EURAC 研究所、IDM (ビジネス・研究支援組織)、ボルツァーノ自由大学、ラインブルグ研究所、自治州組織、民間企業が連携して行うプロジェクトであり、生産者・関連団体、研究者、民間すべてでトリプルウィンとなるような技術革新を目指している。

モニタリングの手法は、衛星リモートセンシング、近接センシング、気象・土壌センサ、圃場ロガー、果実非破壊計測等であり、水・炭素動態、植生、作業、果実品質をモニタリング調査し、一部はデータベース化しネットで利用できるようにする。

このなかから特に果樹に関係する主要な課題として、果実品質、樹体および作業のモニタリングを紹介する。

南チロルのりんご、ぶどうの栽培は、標高 200~1100m で栽培されている。夏季では 100m 上がるごとに 0.6~1.0°C 気温が低下する。そのため、果樹園の場所による気温差が非常に大きい。また、方位、傾斜等により日射条件も異なる。南チロルのゴールデンデリシャスは標高の高い地域のほうが品質に優れ、高値で取引される。また、りんごは貯蔵後に出荷される割合も多く、貯蔵中の品質変化にも着目する必要がある。

このような気象条件、土壌条件の異なる産地のりんごを高品質で安定的に届けることが大きな課題になる。

りんご栽培条件 (標高と着果量の違い) が CA 貯蔵中の果実硬度に及ぼす影響が調査されている⁸⁸⁾。果実硬度には標高の影響が大きく、標高が高いほど硬度が高い。これは標高が高いほど気温が低く、果実の細胞分裂が抑制され、小果で硬い果実になりやすいことによる。着果量の影響は少ない。

近赤外分光法 (NIRS) により、りんご栽培地域や品種を特定できるかが調べられている⁸⁹⁾。主成分分析、判別分析により、標高の高い地域の果実を 93.6%、標高の低い地域の果実を 77.9% 判別できた。また、品種については、9 品種中 5 品種で 100% 判別できた。独立したサンプルで妥当性を判定した結果、標高については 87.5%、品種については 86.3% 判別でき、高速非破壊で産地、品種の判別ができることが示された。

長期貯蔵した果実では、品質構成要素の中で肉質が非常に重要である。肉質評価には、マグネステレー硬度計が用いられるが、破壊的方法であるため、抜き取り調査しかできない。そこで、非破壊測定である音響振動硬度計 (Aweta)、クロロフィルメータ (DA-Meter)、クロロフィル蛍光計 (Multiplex 3) の適用可能性が調べられた⁹⁰⁾。

また、近赤外光により、糖度、酸度だけでなく、糖組成、肉質、総ポリフェノール、ビタミンC、貯蔵障害関連物質（ α -ファルネセン）の評価についても検討されている^{91~94}。

樹体モニタリング

ボルツァーノ自由大学のグループは、図のようなモービルラボを開発している（図23）。搭載センサは、LiDAR、OptRx作物センサでありGPS（RTK GPS）で位置（分解能1cm）を把握する。LiDARは、対象物にレーザー等の光を照射しその反射光から距離を測定するセンサで、樹間の構造等を把握する。OptRx作物センサは、植物体からの反射光から植物の活力であるNVDI（正規化植生指数）を把握する。このシステムを使い、ぶどうの重要病害であるフラバセンスドレ、エスカの早期検出⁹⁶、りんごの摘花作業の精密化のための開花状況のモニタリングの試験⁹⁷が行われている。



出所：D'Auria, D. et al. (2016)^{8,5)} より引用

図 23 モービルラボの外観

作業のモニタリング

精密農業を行う上で、ほ場での作業・管理情報は重要である。通常は、その日の作業終了後に、手入力する。しかし時間がかかり、畑のどの場所で、どんな作業を、いつ行ったかは、正確には判断できない。そこで、農業機械・アタッチメントに取り付けたデータロガーとRFIDでモニタリングし、サーバーパソコンに転送し、専用の解析システムで利用者に届けるシステムが開発された^{98,99}。

ロガー（加速度計モジュール、衛星測位システムGNSS、データ通信システムGPRS、RFIDレシーバー）をトラクタに、加速度計付きRFIDをアタッチメントに付ける。加速度計RFIDにより、作業（例、フレールモア、防除機）を行っているかを判定できる。

引用・参考文献

78. Dorigoni, A. & Micheli, F. (2014). Possibilities for multi-leader trees. *European Fruit Magazine*. 2: 18-20.
79. Dorigoni, A. (2015). Innovative fruit tree architecture as a nexus to improve sustainability in orchards. *Acta Horticulturae*. 1137:1-10.
80. Dorigoni, A. (2018). Multileader and Guyot tree training systems. https://www.fierabolzano.it/interpoma/mod_moduli_files/Alberto%20Dorigoni%20.pdf
81. Tustin, D.S. et al. (2018). The Planar Cordon - new planting systems concepts to improve light utilisation and physiological function to increase apple orchard yield potential. *Acta Horticulturae*. 1228, 1-12.
82. Tustin, S. New tree training systems for apple: Innovations in the USA and New Zealand.
83. Sazo, M. M. (2018). New advances to narrower canopy systems: Transitioning from 3-D to 2-D canopies or fruiting walls – Part 3. *New York Fruit Quarterly*. 26(1): 31-35.
84. Mertz, L. (2019). Multileader systems: Growing vs. grafting. *Good Fruit Grower*. Jan.31.
85. Della Chiesa, S. et al. (2019). Farmers as data sources: Cooperative framework for mapping soil properties for permanent crops in South Tyrol (Northern Italy). *Geoderma*. 342: 93-105.

86. Della Chiesa, S. et al. (2019). Phytoavailable phosphorus (P₂O₅) and potassium (K₂O) in topsoil for apple orchards and vineyards, South Tyrol, Italy. *Journal of Maps*. 15(2): 555-562.
87. Monalisa. <http://www.monalisa-project.eu/en/>
88. Tjiskens, L. M. M. et al. (2018). Apples from Monalisa–Biological variation of firmness behaviour in storage and shelf life. *Acta Horticulturae*. 1194:1415-1420.
89. Eisenstecken, D. et al. (2019). The potential of near infrared spectroscopy (NIRS) to trace apple origin: Study on different cultivars and orchard elevations. *Postharvest biology and technology*. 147:123-131.
90. Sadar, N. et al. (2016). Optical, acoustic and textural attributes in 'Braeburn' and 'Nicoter' (Kanzi®) apple resulting from different pre-and postharvest conditions. *Acta Horticulturae*. 1194:753-760.
91. Eisenstecken, D. et al. (2015). A near infrared spectroscopy (NIRS) and chemometric approach to improve apple fruit quality management: a case study on the cultivars “cripps pink” and “braeburn”. *Molecules*. 20.8: 13603-13619.
92. Vanoli, M. et al. (2018). Water spectral pattern as a marker for studying apple sensory texture. *Advances in Horticultural Science*. 32.3: 343-351.
93. Liu, T. et al. (2016). Non-destructive assessment of ascorbic acid in apples using near-infrared (NIR) spectroscopy together with partial least squares (PLS) regression. *Acta Horticulturae*. 1208: 447-454.
94. Eisenstecken, D. et al. (2016). Near-infrared reflection spectroscopy and partial least squares regression to predict α-farnesene and conjugated trienol content in apples during storage. *Postharvest biology and technology*. 117: 49-56.
95. D'Auria, D. et al. (2016). Development and preliminary tests of a crop monitoring mobile lab based on a combined use of optical sensors. *International Journal of Computer & Software Engineering*. 1:IJCSE-103.
96. Gallo, R. et al. (2017). New solutions for the automatic early detection of diseases in vineyards through ground sensing approaches integrating LiDAR and optical sensors. *Chemical Engineering Transactions*. 58: 673-678.
97. Daglio, G., et al. (2019). Automated crop monitoring solutions to assess the blooming charge in orchards: preliminary results achieved by a prototype mobile lab used on apple trees. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 275.012019.
98. Mazzetto, F. et al. (2017). Automatic filling of field activities register, from challenge into reality. *Chemical Engineering Transactions*. 58: 667-672.
99. Sacco, P. et al. (2019). Data analysis and inference model for automating operational monitoring activities in Precision Farming and Precision Forestry applications. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 275, 012013.

4. 南チロルのぶどう栽培と精密農業

1) ぶどう栽培とワイン産業

南チロルは醸造用ぶどう産地としては、イタリアで最も小規模な産地の一つである^{100,101}。ぶどう園全体の面積は 5,450ha で、26,000 のぶどう園に別れていることから、一つの畑は小さい。半分以上は

0.99ha 以下であり、50ha 以上の園は 0.1%に過ぎない（表 11）。ぶどう園は、海拔 200～1300m にあり、標高、方位、地形、土壌条件も大いに異なる。

ワインの種類は多く、最高品質を誇る産地の一つである。大規模栽培でなく、品質や環境に特に配慮した小規模栽培であり、後述するシチリアの大規模農園のような機械化管理はできない。

表 11 イタリアおよび代表的産地におけるぶどう園の地形、栽培面積、ワイン種類についての農家数の割合 (%)

| 分類 | | イタリア | トレンティーノ＝ アルト・アディジェ | ボルツァーノ | トレント | ベネト | シチリア |
|---------|-------------|------|-----------------------|--------|------|------|------|
| 地形 | 山 | 14.4 | 100 | 100 | 100 | 1.7 | 10.2 |
| | 丘 | 57.7 | 0 | 0 | 0 | 38.1 | 60.2 |
| | 平地 | 27.8 | 0 | 0 | 0 | 60.1 | 29.5 |
| 面積 (ha) | 0.01 - 0.99 | 31.6 | 55.8 | 52.6 | 57.1 | 31.1 | 19.4 |
| | 1-1.99 | 20.9 | 18.5 | 17.0 | 19.1 | 20.4 | 20.5 |
| | 2-2.99 | 12.2 | 9.4 | 12.3 | 8.3 | 12.4 | 14.5 |
| | 3-4.99 | 13.2 | 9.3 | 11.5 | 8.5 | 13.8 | 16.7 |
| | 5-9.99 | 12.3 | 5.3 | 5.4 | 5.3 | 12.9 | 16.3 |
| | 10-19.99 | 6.2 | 1.2 | 0.9 | 1.3 | 6.3 | 8.3 |
| | 20-49.99 | 2.8 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 2.3 | 3.6 |
| | 50-99.99 | 0.5 | 0.0 | 0.1 | 0 | 0.4 | 0.5 |
| 100 - | 0.3 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | |
| ワイン種類 | 高級 | 29.9 | 75.1 | 88.8 | 68.3 | 47.8 | 10.7 |
| | その他 | 70.1 | 24.9 | 11.2 | 31.7 | 52.2 | 89.3 |

出所：ISTAT センサス 2010¹⁰²⁾ より作成

南チロルでは、紀元前 5 世紀にはぶどう栽培が行われ、それはヨーロッパでも最古の産地の一つである。最初のワイン協同組合は 1893 年に設立され、ワインテイスタング祭は 1896 年に始まり、現在でも南チロルの重要行事となっている。

ワイン用ぶどう品種の数は多く、20 種類ほどある^{100,101)}。栽培面積は、白ワイン用品種の割合が 60%、赤ワイン用品種は 40%である。栽培が多い品種は、白ワイン品種ではピノ・グリージョ（ぶどう全面積の 11.7%、以下同じ）、ゲヴェルツトラミネール（10.7%）、シャルドネ（9.9%）、ピノ・ビアンコ（9.7%）であり、赤ワイン品種ではスキアーヴァ 13.7%、ラグレイン（8.5%）、ピノ・レノ（7.8%）等である。スキアーヴァ、ラグレインは、チロルで生まれた土着品種で、スキアーヴァは、684ha で最も栽培面積の多い品種である。多様な品種群があるのは、気象・土壌が複雑で、それぞれに適した品種が栽培されていることによる。

小規模な園が多く協同組合ワイナリーである南チロルが最高品質のワインを出荷する理由を次に整理する。

一般に、協同組合ワイナリーのワイン品質は、私営ワイナリーより劣ることが多い。協同組合ワイナリーの成功条件としては、1) 自前ブランドとし、バルクワインとして出さない、2) 組合員のモラルハザード（品質の悪いぶどうを組合出荷し、良品は市場出荷）の回避、すべてのぶどうを組合出荷、3) 組合としての栽培基準設定、定例確認作業、訓練、4) 組合員に平均以上の価格で支払ことである^{103,104)}。

また、南チロルワイン協同組合がなぜ成功しているかについて、その要因が社会関係資本の面から解析されている¹⁰⁵⁾。社会関係資本とは、社会・地域における人々の信頼関係や結びつきを現す概念で、こ

れを活性化することで社会・地域の効率性を高めることができる。農家への原料ぶどうの支払価格が高ければ、組合は成功していると判断できる。

社会関係資本は、組合員の共通ビジョンの強度として定義できる。それは、会員の関与、信頼、会員とワインメーカーとの関係、ぶどうの透明公正な品質評価基準、栽培管理、訓練等に関する。これらを強化することが成功（農家の手取り増）につながる。

南チロルはこれらが良好に働き、成功に結びついている。ワイン協同組合が失敗しているところは、これらを強化する必要がある。

引用・参考文献

100. Alto Adige Wines leaf through. <https://www.altoadigewines.com/en/press-downloads/publications/63-0.html>
101. アルト・アディジェのワイン. <https://www.altoadigewines.com/ja/> (2019.12.17)
102. Italy. ISTAT
103. Storchmann, K. (2018). Introduction to the issue: wine cooperatives. *Journal of Wine Economics*. 13(3): 239–242.
104. Schamel, G. H. (2014). Wine quality, reputation, denominations: How cooperatives and private wineries compete? *BIO Web of Conferences*. 3, 03008.
105. Schamel, G. H. (2019). Structure, organization and a vision: Reasons for the success of wine cooperatives? *BIO Web of Conferences*. 12, 03018.

2) 精密栽培

南チロルは、地形、気象、土壌が異なる非常に多様な環境で、数千年にも渡ってぶどう栽培が行われてきた。現在の圃場は適地であり、環境に適した品種が栽培されていることになる。圃場の数は多く、これを評価することによって品種ごとの適地分布、温暖化影響評価にも利用できる。

26,000 のぶどう園を対象に、5 m メッシュで解析が行われている¹⁰⁶⁾。標高 (X 軸)、ポテンシャル日射量 (Y 軸) の関係グラフ上に、各圃場をプロットすることで、産地の分類、品種の適地を判別できる。プロット数の少ないところは不適地と判定できる。標高は気温と関係 (低温減率) することから、温暖化した場合の影響評価、適地移動判定も解析できる^{107~109)}。

メッシュ解析が土壌条件についても行われている。地域による土壌条件の違いは非常に大きい。南チロルのぶどう産地 87 地域について、気象、土壌、品種等についてまとめた詳細な資料が提示されている¹¹⁰⁾。

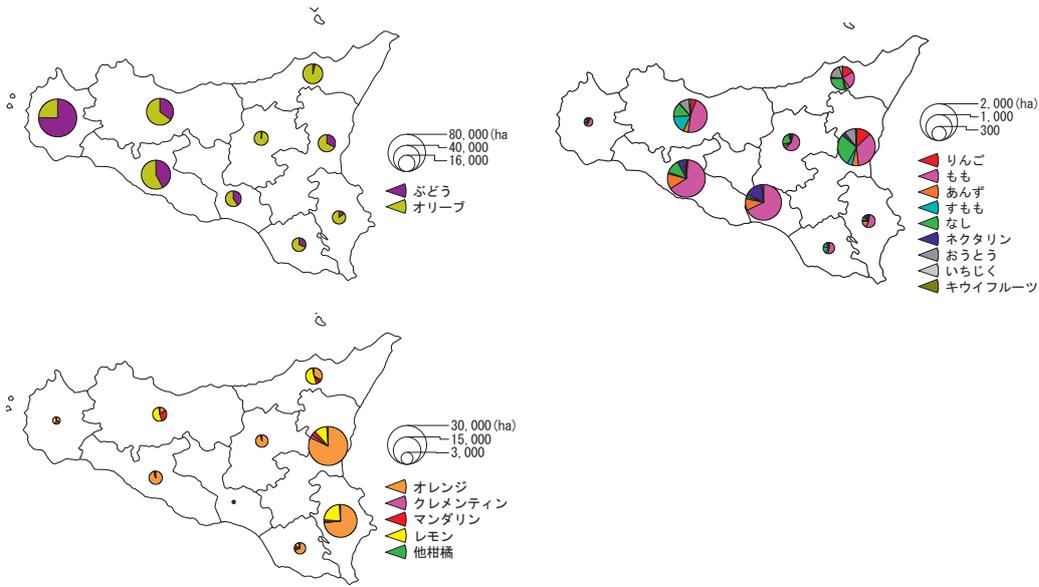
引用・参考文献

106. Feretti, C. G. (2020). A new geographical classification for vineyards tested in the South Tyrol wine region, northern Italy, on Pinot Noir and Sauvignon Blanc wines. *Ecological Indicators*. 108. 105037.
107. EURAC Research. (2018). Climate change and the consequences for South Tyrol.
108. Schmid, A. et al. (2018). Upward shifts in elevation—a winning strategy for mountain viticulture in the context of climate change? *E3S Web of Conferences*. Vol. 50. EDP Sciences.
109. Cogato, A. et al. (2019). Analysis and impact of recent climate trends on grape composition in north-east Italy. *BIO Web of Conferences* (Vol. 13, p. 04014). EDP Sciences.

5. シチリアの果樹とスマート農業

1) 果樹生産と課題

気候、土壌条件に恵まれ、ぶどう、ピスタチオ、ヘーゼルナッツ、アーモンド、柑橘類、もも、オリーブ、ワイン等の産地である（図 24）。水資源は、河川が小規模で節水管理が重要である。



出所：ISTAT2017¹¹¹⁾ より作成

図 24 シチリア州の県別果樹生産量

EUの主要なカンキツ生産国は、スペインとイタリアである。2017年のEUのオレンジ生産量は620万トンであり、スペインはその半分の340万トン、イタリアは1/4の150万トンを占める。EU諸国のオレンジ輸出量は270万トンであり、そのうちの240万トンがEU内で取引される。EU以外の国から輸入されるオレンジは110万トンであり、そのうち南アフリカ45.1万トン、エジプト28.1万トン、モロッコ12.1万トンである。

2017年のEUのレモン生産量は147万トンであり、スペインは92.8万トン、イタリアは43.5万トンである。また、EUはレモンを61.0万トン輸入している。主要輸入先国は、アルゼンチン、トルコ、南アフリカ等である。

スペインからイタリアへの輸入量は、オレンジ13.3万トン、レモン6.4万トンである。

このように、イタリアのオレンジは、EU内では最大の生産国であるスペインと競合関係にあり、EU以外では南アフリカ、エジプト等と競合関係にある。このような厳しい状況の中で、シチリアでは有機栽培が注目されている¹¹³⁾。

シチリアのレモンについて、有機栽培と慣行栽培の経済性を比較したところ、有機栽培は収量が21%少なくなるが、必要労力が少なく市場評価が高いことから収益性が高い¹¹⁴⁾。これは、シチリア州の農村開発補助金の有無に関わらず同じ傾向である。

シチリアのレモン、オレンジについて、有機栽培と慣行栽培のエネルギー使用量、環境影響が比較さ

れ、有機栽培のエネルギー使用量が少なく、環境影響が少ないことが示された¹¹⁵⁾。

シチリアでは温暖化の影響もあり、熱帯果樹が注目されている。特に、マンゴーが高収益作物として注目され栽培面積は55ha（2017年）である。産地はパレルモ近郊（ティレニア海に面する地域）である。

農村地域の持続的開発の観点から、小規模農家のマンゴー栽培の実態調査が行われている¹¹⁶⁾。マンゴーは、年間粗利益がオレンジの20倍、ぶどうの40倍近くである。生産量が少ないため、需要が大きい。労働コストの高い作業は、ぶどうでは大部分がせん定、収穫は収穫機械で省力化、オレンジは収穫とせん定、マンゴーはせん定である。マンゴーの気象条件について、8か月間は平均10℃以上、最寒月の平均気温が6℃未満にならないことである。防風垣等対策も必要であり、幼木は特に低温に弱いことから、防寒被覆の試験も行われている¹¹⁷⁾。

引用・参考文献

111. Italy. ISTAT.

112. EU. Eurostat.

113. Factsheet on 2014-2020 Rural Development Programme for Sicily.

https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/rural-development-2014-2020/country-files/it/factsheet-sicily_en.pdf

114. Sgroi, F. et al. (2015). Economic and financial comparison between organic and conventional farming in Sicilian lemon orchards. *Sustainability*. 7(1): 947-961.

115. Pergola, M., et al. (2013). Sustainability evaluation of Sicily's lemon and orange production: an energy, economic and environmental analysis. *Journal of environmental management*. 128: 674-682.

116. Testa, R. et al. (2018). Tropical Fruits as an Opportunity for Sustainable Development in Rural Areas: The Case of Mango in Small-Sized Sicilian Farms. *Sustainability*. 10(5), 1436.

117. Farina, V., et al. (2017). Innovative techniques to reduce chilling injuries in mango (*Mangifera Indica* L.) trees under mediterranean climate. *Chemical Engineering Transactions*. 58: 823-828.

2) スマート農業

イタリアの中部、南部は、大きな河川、湖がないことから、干ばつの影響を受けやすい。イタリアの2017年の干ばつは、過去60年間で最も乾燥した春となり、降水量は、シチリアでは7月気温平年比+2.5°C、降水量40%となった。全体で20億ユーロの農業被害、中部地方での被害が特に大きくなった¹¹⁸⁾。

EUでは、降水量観測、衛星データ、土壌水分のモデル評価値を使いEDO (European Drought Observatory) という干ばつに関する情報提供を行っている(図25)¹¹⁹⁾。干ばつに関する指標は、SPI (標準化降水指数)、fAPAR (光合成有効放射吸収率)、土壌水分である。

SPIは降水量を統計処理することで、各地域や各季節における干ばつの発生頻度に対応する情報に変換したものである¹²⁰⁾。発生頻度の低い干ばつほど、大きな被害をもたらす。

シチリアでは、独自の干ばつ監視システムがあり、200以上の観測点の降水量、気温、SPI、水資源の状況を情報提供している¹²¹⁾。

カンキツの水管理

シチリアのカンキツの主要産地にあるカターニャ大学では、カンキツの水管理の試験が精力的に行われている。

精密に節水管理を行うには、蒸発散量の推定が重要である。蒸発散量は、一般には次式で表すことができる¹²²⁾。

$$ET_{FAO} = K_c ET_0$$

実状蒸発散量 = 作物係数 × 可能蒸発散量

節水灌水のように、土壌面の濡れにむらがある場合には、誤差が大きくなる可能性がある。そこで、蒸発散量を次式のように表して、蒸発散量は渦拡散法により、基礎作物係数、土壌係数は衛星リモートセンシングと土壌水分の比抵抗トモグラフィーにより評価された¹²³⁾。その結果、ドリップ灌水のように土壌水分が時間的空間的に大きく変化する場合は、このような手法が有効であることが示された。

$$ET_{FAO} = (K_{cb} + K_e) ET_0$$

実蒸発散量 = (基礎作物係数 + 土壌係数) × 可能蒸発散量

蒸発散量、サップフロー、土壌水分(比抵抗トモグラフィー、ERT)によりオレンジ樹の土壌水分動態が解析され、根による水分吸収が行われる範囲は2m²、40cm範囲と小さかった¹²⁴⁾。従来のドリップ灌水法では、灌水量のうち半分は利用されず失われると判断された。

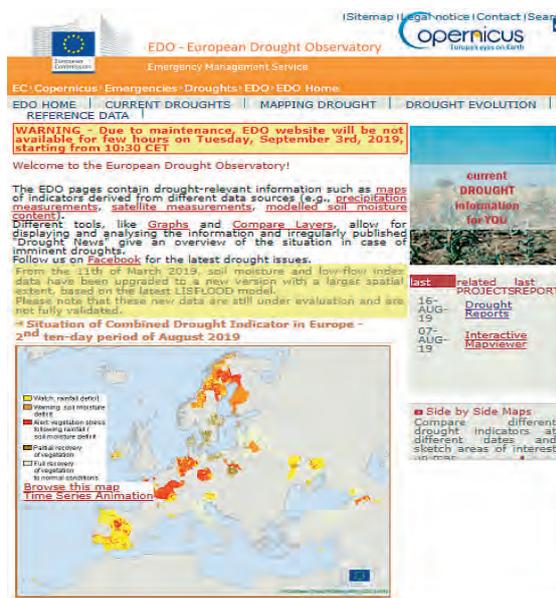


図25 EDO (欧州干ばつ観測) のホームページ

さらなる節水管理の方法としてPRD (Partial Root-zone Drying) が注目されている。これは根圏を一様に灌水するのではなく、半分に灌水を行い、もう片方は乾燥させる灌水法である。これにより、収量・品質を維持しながら、灌水量を大幅に削減できる。PRDにおける、土壌水分と根の動態を把握するために、イメージング (ERT、MALM) 評価が行われている¹²⁵⁾。



図 26 パレルモ大学柑橘園のドリッ
ブ灌水

カンキツ園の灌水量と収量、総収益、コスト、利益の関係から、節水管理栽培での最適灌水量が評価された¹²⁶⁾。

引用・参考文献

118. EDO Analytical Report 1. Severe drought in Italy – July 2017.
119. Copernicus. EDO-European Drought Observatory.
<https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000> (2019.9.3)
120. 気象庁. 標準化降水指数 (SPI) .
https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/monitor/climatview/spi_commentary.html.
121. Rossi, G. & Cancelliere, A. (2002). Early warning of drought: development of drought bulletin for Sicily. *2nd International Conference New Trends in Water and Environmental Engineering for Safety and Life: Eco-compatible Solutions for Aquatic Environments*, Capri (Italy).
122. Allen, R. G. et al. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements.-*FAO Irrigation and drainage paper* 56. FAO, Rome.
123. Vanella, D. et al. (2019). Combining Electrical Resistivity Tomography and Satellite Images for Improving Evapotranspiration Estimates of Citrus Orchards. *Remote Sensing*. 11(4), 373.
124. Cassiani, G., et al. (2015). Monitoring and modelling of soil-plant interactions: the joint use of ERT, sap flow and eddy covariance data to characterize the volume of an orange tree root zone. *Hydrology and Earth System Sciences*. 19: 2213-2225.
125. Mary, B et al. (2019). Assessing the extent of citrus trees root apparatus under deficit irrigation via multi-method geo-electrical imaging. *Scientific Reports*. 9(1):1-10.
126. Capra, A. et al. (2011). Economic analysis of citrus orchards under deficit irrigation in South Italy. *Acta Horticulturae*. 922: 209-215.

IV 欧州における醸造用ぶどうのスマート農業

1. スマート農業、精密栽培の必要性

精密ぶどう栽培の研究は1990年代から、オーストラリアや米国で開始された^{123~126)}。それはPrecision Viticulture (PV)と呼ばれた。ぶどう収穫機に重量センサを設置し、収量の空間分布が図示されるようになった。収量・品質の分布要因 (土壌、気象、地勢、樹体) との関係が解析されるようになり、肥料や農薬も、均一でなく、収量 (樹勢) に合わせて行う必要性が示された。

醸造用ぶどうについて精密栽培が必要な理由は以下のとおりである^{123,125,126,128)}。

- ・最終的な目標とするワインのグレード、種類に合致する品質の果実生産が重要。生食用ぶどうとは異

なる品質評価。

・醸造用の果実品質は、糖酸、タンニン、色素、香り等があり複雑。単に糖度、酸度だけで判断できない。他の成分の蓄積も総合的に判断する必要がある。低品質の果実が含まれるとワイン品質に影響するので、そろった果実を収穫するのが望ましい。

・果実品質は、気象条件、水管理、施肥、病害虫、着果量に影響される。黒・赤品種では、温度が高いと糖度が上がっても、着色しにくい。

・醸造用ぶどう園は傾斜地にあることが多く、地形、気象・土壌条件の違いによって樹体生育、果実品質にバラツキがある。雨天等天気によっては収穫できない場合もある。

・低コスト生産、持続可能性への配慮（エネルギー、化学農薬・肥料の削減）。

・ワインの国際市場競争（消費量はあまり変わらないが、貿易量増加傾向）

・消費者の品質、栽培・生産法に対する関心が高い

また、醸造用ぶどうが精密栽培に適する理由は以下の通りである。

・樹形が垣根状平面的で低樹高

・比較的、機械化しやすい（収穫、新梢管理、せん定）

・産業規模が大きく、専門の機械メーカーやコンサルティング会社もある。



図 27 シチリアの大規模ぶどう園の樹形

引用・参考文献

123. Arnó Satorra, J. et al. (2009). Review. Precision viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 7:779-790.

124. Taylor, J. A. (2004). Precision Viticulture and Digital Terroir: Investigations into the application of information technology in Australian vineyards. Diss. Ph. D. Thesis.

125. Matese, A., & Di Gennaro, S. F. (2015). Technology in precision viticulture: A state of the art review. *International Journal of Wine Research*. 7(1): 69-81.

126. ジェイミー グッド. (2014). 新しいワインの科学 (梶山あゆみ訳). 河出書房新社. 東京.

127. Poni, S. et al. (2018). Grapevine quality: A multiple choice issue. *Scientia Horticulturae*. 234: 445-462.

128. International Organisation of Vine and Wine Intergovernmental (OIV). 2019 statistical report on world vitiviniculture.

2. 樹園地モニタリングとロボット

欧州でぶどうのスマート農業研究が精力的に行われているのは、スペインである。ここでは、主に Televitis の取組を紹介する。Televitis は、スペインのラ・リオハ大学と Institute of Sciences of Grape and Wine (ICVV) の研究開発グループで、精密ぶどう栽培とぶどう園への新技術導入を目的に、2008 年に設立された¹²⁹⁾。その基本的な考え方は、データに基づくぶどう栽培 (Data-Driven Viticulture) である。

主要課題は、フェノタイピング (植物の形態、構造、機能、品質等のモニタリング)、持続的生産のための精密ぶどう栽培、スマート農業、ぶどう園ロボット、スマートフォンアプリ開発等多岐にわたる。

VineRobot、VineScout

VineRobot は、スペイン、イタリア、フランス、ドイツ4か国の大学、民間がコンソーシアムを組んだプロジェクトであり、研究期間は2013～2017年である¹³⁰⁾。その目的は、ぶどう園用のモニタリングロボット開発であり、コーディネーター機関はラ・リオハ大学である。VineRobot は地上自律走行型であり、ぶどうの収量、樹体生長、水ストレス、果実品質のモニタリング機能を有する。得られたデータは、マッピングできる。

VineScout は、VineRobot を発展させたもので、スペイン、フランス、イギリス、ポルトガルの大学、民間がコンソーシアムを組んだプロジェクトであり、研究期間は2016～2019年である¹³¹⁾。コーディネーター機関は、スペインのバレンシア工科大学であり、ラ・リオハ大学も参画している。その特徴は、市販化を目指していることであり、セミナーや実演を積極的に行い、アンケート調査も行っている¹³²⁾。その内容は、耐久性、メンテナンスの必要性、安全性、走行速度、価格等である。価格については、18,000ユーロとした場合、高すぎる37%、適当25%、安い0%、わからない38%との回答であった。また、導入上の障害としては、価格、信頼性、複雑という回答が多かった。コンソーシアムでは、これらを考慮して開発を進めている。

Televitis グループは、VineScout プロジェクトの中で、ロボットでなく4輪バギーに各種カメラを載せたモニタリング試験も行っている^{133,134)}。ハイパースペクトルカメラによる果実の糖度、アントシアニン含量の非破壊評価、RGBカメラによるベレゼーン期の果粒数把握、収量の早期評価が行われている。

その他、ぶどうの収量を評価する VinBot (ロボットニックオートメーション (スペイン) 他、2014～2017年)¹³⁵⁾、フェロモンチューブを自動で設置する GRAPE (EURECAT テクノロジーセンター (スペイン) 他)¹³⁶⁾がある。



図 28 VineScout の運転状況とセミナーの様子

(VineScout Project Coordinator, Francisco Rovira-Más 氏提供)

引用・参考文献

129. Televitis. <https://televitis.unirioja.es/en/>
130. Diago, M. P. & Tardaguila, J. (2015). Vinerobot: on-the-go vineyard monitoring with non-invasive sensors. *19th Meeting of the Group of international Experts of vitivinicultural Systems for CoOperation (GiESCO)*.
131. VineScout. Periodic Technical Report Part B - Explanation of the work - Overview of progress.
132. VineScout. DELIVERABLE 5.2-a. Testimony of Agronomy Days. http://vinescout.eu/web/wp-content/uploads/2017/12/D5.2-a_Testimony_Agronomy_Days.pdf.
133. Aquino, A. et al. (2018). Automated early yield prediction in vineyards from on-the-go image acquisition. *Computers and electronics in agriculture*. 144: 26-36.
134. Gutiérrez, S. et al. (2019). On - the - go hyperspectral imaging for the in - field estimation of grape berry soluble solids and anthocyanin concentration. *Australian journal of grape and wine research*. 25:127-133.
135. VinBot. <http://vinbot.eu/>
136. Roure, F. et al. (2017). GRAPE: ground robot for vineyard monitoring and protection. In Ollero, A et al. (eds). *ROBOT 2017: Iberian Robotics Conference* (pp. 249-260). Springer, Cham.

3. 農薬削減の取組

農薬削減の取組としては、化学農薬は極力使わないのが望ましく、化学農薬を使う場合でも過剰散布にならないようにすることが重要である。そのためには、防除歴でなく病害発生リスクを評価して散布する、散布量は、ほ場面積だけで決めるのではなく栽植様式・樹形を考慮する、散布時は、ほ場内を均一に散布するのではなく、樹冠にだけに行うことが望ましい^{137,138)}。そのためのパソコンツールが開発されている。

DOSAVIÑA は、スペインのカタルーニャポリテクニカ大学で開発されたツールで、ぶどうの樹形、スプレーヤ、ノズルの形式、農薬名を入力すると、最適な農薬量、散布量、ノズルの数、動作圧力、走行速度等が提示される¹³⁹⁾。

これを応用したカンキツ用の CitrusVol (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA))¹⁴⁰⁾、3D 樹形用の DOSA3D (AgroICT & Precision Agriculture, Universitat de Lleida (UdL)-Agrotecnio Center)¹⁴¹⁾も開発されている。

精密農薬散布は、農薬コスト・環境負荷を低減し、人にも優しい。しかし、スプレーヤの機能が向上すると、その分機械の価格も高くなる。

Tona ら (2018) は、ぶどう、りんごを対象に、スプレーヤの種類 (標準 SS (L0)、樹冠の有無を判定しながら流量調整 (L1)、樹冠の3D構造を測定しながら各ノズル方向・流量を調整 (L2)) と農薬削減効果から経済的評価を行った。その結果、ぶどうでは、10ha 未満では L0、10~100ha では L1、100ha 以上では L2 が優れ、りんごでは 17ha 未満では L0、10ha 以上では L1 が優れ、L2 の利点はないという評価になった¹⁴²⁾。

また、ロボットスプレーヤについての可能性については、購入価格の限界は、ぶどう 54,700 ユーロ、りんご 66,500 ユーロであり、実際の販売予想価格 238,800 ユーロ、286,600 ユーロと大きな隔たりがあり非現実的との判断であった。

引用・参考文献

- 137. Gil, E. et al. (2014). Advanced technologies for the improvement of spray application techniques in Spanish viticulture: An overview. *Sensors*. 14: 691-708.
- 138. Gil, E. (2018). Spray application in vineyard around the world. New technologies for a sustainable crop protection. <http://www.vitinord2018.org/wp-content/uploads/sites/26/2018/08/Emilio-Gil.pdf>.
- 139. Gil, E. & Llop, J. DOSAVIÑA–New APP for a more sustainable use of PPP in vineyard.
- 140. Planas, S. et al. (2016). A proposal for dose expression& dose adjustment in the EU-Southern ZoneDOSA3D system. EPPO Workshop on harmonized dose expression for the zonal evaluation of plant protection products in high growing crops.
- 141. Garcerá, Cruz, et al. (2017). Sustainable use of pesticide applications in citrus: A support tool for volume rate adjustment. *International journal of environmental research and public health*. 14.7: 715.
- 142. Tona, E. et al. (2018). The profitability of precision spraying on specialty crops: a technical–economic analysis of protection equipment at increasing technological levels. *Precision agriculture*. 19: 606-629.

4. 栽培支援ツール

ぶどう栽培では精密栽培が重要であることから、すでにスマートぶどう園管理システムが数多く市販されている（表 12）¹⁴³⁾。これらを使うことにより、精密栽培管理、意志決定をサポートできる。

表 12 スマートぶどう園システムの市販例

| システム | 国名 |
|------------------|-------|
| SmartVineyard | ハンガリー |
| VineMetrics | 米国 |
| PreDvine | スイス |
| MECS-VINE | イタリア |
| eVineyard | スロベニア |
| Fruition science | フランス |
| Picore | ドイツ |

出所：Bonneau, V. (2017)の資料¹⁴³⁾より作成



(FD：ぶどう病害フラバセンスドレ)

図 29 市販の病害予測システムの例
(PreDivine 社提供)

ぶどうのべと病、うどんこ病を、IoT と気象的なモデルにより発病危険度を評価し、農薬の適期散布に活かす試験も積極的に行われている^{144,145)}。

スマートフォンアプリでは、花穂の数を測定する VitisFlower¹⁴⁶⁾、果粒数を測定する VitisBerry¹⁴⁷⁾が開発されている。

引用・参考文献

143. Bonneau, V. (2017). Smart vineyard: management and decision making support for wine producers. <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/>.
144. Pérez-Expósito, J. et al. (2017). VineSens: An eco-smart decision-support viticulture system. *Sensors*. 17(3), 465.
145. Trilles Oliver, S. et al. (2019). Adapting Models to Warn Fungal Diseases in Vineyards Using In-Field Internet of Things (IoT) Nodes. *Sustainability*. 11,416.
146. vitisFlower APP - Televitis. <https://televitis.unirioja.es/en/index.php/vitisflower-app/>
147. Aquino, A. et al. (2018). vitisBerry: An Android-smartphone application to early evaluate the number of grapevine berries by means of image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*.148:19-28.

5. 醸造用ぶどうの機械化

熟練労働力不足、全体的なコスト上昇から、せん定、摘心、摘葉作業の機械化が進められている。イタリアにおけるぶどうの仕立て方には、SPC (Spur-pruned Cordon)、ダブルカーテン、フリーコルドン、MFC (Moveable Free Cordon)、MSPC (Moveable Spur-pruned Cordon)、COMBI、SMPC (Semi-minimal-pruned Hedge) 等があり、これらに適するせん定機械や収穫機械が検討されている^{148,149}。

摘葉については、果房への日当たりをよくし着色を促進するとともに、果房を露出させ機械収穫しやすくする効果もある。機械収穫については、V 現地調査を参照。



図 30 ぶどうのせん定機械 (左) と摘葉機械 (右) の例
(Pellenc 社提供)

機械せん定の導入に際して、樹体生育への影響、罹病の可能性、果実品質の低下等の懸念がある。Capara & Pezzi (2013)は、手せん定(m)、機械せん定+せん定バサミ(Mm)、機械せん定+ワゴンに乗ってエアースン定バサミ(Mw)、機械せん定(M)を比較検討した。樹形は、コルドン樹形で機械せん定は Tanesini Technology 社のトリマーで行った¹⁵⁰。

作業時間は、M:95%減、Mw : 75%減、Mm : 47%減となり、コストは M : 71%減、MW35%減、Mm23%減 (機械の購入・維持コスト等も考慮、価格 : プルーナー9,500 ユーロ、ワゴン 3,500 ユーロ) となった。

樹体・果実品質は、機械収穫のほうが残る芽数が多く、房や果粒が小さめでしっかりしており、機械収穫での損傷が少なかった。以上、機械収穫での有効性が認められた。

引用・参考文献

148. Intrieri, C. (2008). Research and Innovations for Vineyard Mechanization in Italy. *Proceedings of the Justin R. Morris Vineyard Mechanization Symposium*. University of Missouri Extension.
149. Intrieri, C. & Poni S. (1995). Integrated evolution of trellis training systems and machines to improve grape quality and vintage quality of mechanized Italian vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*. 46:116-127.
150. Caprara, C. & Pezzi, F. (2013). Effect of different winter pruning systems on grapes produced. *Journal of Agricultural Engineering*. XLIV (s2):e85.

6. ビッグデータ研究

BigDataGrapes (Big Data to Enable Global Disruption of the Grapevine-powered Industries)は、EU の EIP-AGRI プロジェクトである。参画機関は、Agrokow IKE (ギリシャ)、Ontotext ATE (ブルガリア)、イタリア学術会議、ルーベン・カトリック大学 (ベルギー)、Geocledian GmbH (独)、フランス国立農学研究所、アテネ農業大学 (ギリシャ)、Abaco SpA (イタリア)、APIGAIA (ギリシャ) である。

その目的は、ぶどう関連企業 (ワイン及び自然化粧品) の国際市場での競争力強化であり、栽培管理・精密農業システム、食品分野でのリスク評価・予測システム、美容化粧品分野での品質管理・コンプライアンスについてのビッグデータ利用ソフト開発を行うことにある。具体的には、以下の通りである。

- ・精密農業情報・植物季節とぶどう・ワイン品質との関係、機械学習

想定される成果： BigDataGrapes データセットの拡張・集積により研究、技術開発の基礎

- ・ぶどう品質に関係するぶどう栽培、生理生態
- ・ワイン学、ぶどうやワインの潜在的品質の表現、発酵過程のモニタリング
- ・圃場でのセンサ情報、管理情報の収集・管理と可視化
- ・ぶどう栽培、ワイン製造過程での副産物の化粧品、栄養補助食品等への利用

引用・参考文献

151. Karampiperis, P. (2020). BigDataGrapes. D1.3 - Annual Public Report.

(朝倉)

V 果樹のスマート農業、精密農業の現地調査

1. 日程

欧州における果樹のスマート農業、精密農業の研究状況等を把握するために、イタリアシチリアのパレルモ大学で開催された国際園芸学会「果樹、ぶどう園の精密管理に関する国際シンポジウム」に参加した。現地調査のスケジュールは以下のとおりである。

表 13 イタリア現地調査の日程

| 月 日 | 旅程 |
|----------------|--------------------------|
| 10月6日 | 成田 → ローマ → パレルモ |
| 10月7日 ～11日 | 国際園芸学会(パレルモ) |
| 10月12日 ～14日 | パレルモ → ローマ → 上海 → 名古屋、広島 |

10月13日成田帰国予定であったが、台風19号の影響で帰りの旅程変更

2. 果樹、ぶどう園の精密管理に関する国際シンポジウム

シンポジウムの目的は、果樹園の精密管理に関する最新の研究動向を議論することである。近年、気候変動が激しくなり、気温やCO₂濃度が上昇し、干ばつ、水害も増加している。気候変動は、果樹生理や生産性を変化させ、果樹栽培の持続可能性や食料経済にも影響する。

一方、近年の科学技術の進展は、さらなる果樹園の精密管理を可能にし、高収量、高品質、効率化を目指すことができるようになって来ている。新世代の各種センサは、圃場の灌水、施肥、病虫害管理、せん定、収穫等やポストハーベストでのより精密な管理の実現を可能にしている。

そこで、園芸、植物生理、工学分野のより一層の情報交換と検討を行い、精密で自動化された果樹園管理の将来方向を示すのがシンポジウムの主旨である。

シンポジウムのコンビーナーは、パレルモ大学の Lo Bianco 教授、Pisciotta 教授、ボローニャ大学の Manfrini 教授である。参加者は、イタリア、ドイツ、ポルトガル、ベルギー等の欧州各国、米国、韓国、チリ、オーストラリア、ニュージーランド等である。

国際園芸学会での精密農業に関するシンポジウムは、2008年米国フロリダ開催の「果樹野菜の精密農業」、2018年トルコ開催の「機械化、精密園芸とロボティクス」等があるが、果樹単独での精密農業に関するシンポジウムは初めてである。

シンポジウムの日程は、表 14 のとおりであり、10月7日、8日、10日、11日に講演（口頭、ポスター）、10月9日に専門ツアーが行われた。



図 31 シンポジウム会場（パレルモ大学）

表 14 シンポジウムの日程

| 月日 | 曜日 | 午前・午後 | セッション、特別講演 |
|--------|----|-------|---|
| 10月7日 | 月 | 午前 | 基調講演「イタリアの精密農業」 灌水と水管理 |
| | | 午後 | 灌水と水管理 |
| 10月8日 | 火 | 午前 | 収量と収穫モニタリング 招待講演「精密園芸でのゾーニングとデータ融合」 マッピングと意志決定プラットフォーム・システム |
| | | 午後 | 収量と収穫モニタリング |
| 10月9日 | 水 | | 専門ツアー（ブドウ・オリーブ圃場の省力機械等） |
| 10月10日 | 木 | 午前 | 招待講演「植物生理に基づく果樹園精密管理」 樹体成長と管理 病虫害圧の検出と制御 |
| | | 午後 | 樹体成長と管理 |
| 10月11日 | 金 | 午前 | 果実成長、成熟、品質、ポストハーベスト 土壌管理、肥沃度、栄養 |
| | | 午後 | 大会総括 |

シンポジウムの主な発表について、樹種別に紹介する。また、スマート農業（情報化と機械化、ドローン）に関係した分野については、工学的視点からまとめて紹介する。

1) りんご

摘花・摘果は、りんご栽培の最も重要な作業の一つであり、労力も必要とする。米国ジョージア工科大学の Sherif は、摘花剤の好適散布時期を判断するための花粉管伸長モデルについて紹介した。中心花の花粉管の伸長スピードを気象条件から予測し受精時期を判断し、不要な側花を除く摘花剤を散布する。ニューヨーク州では NEWA、ワシントン州では AgWeatherNet という気象ネットワーク上で、モデルが利用できる。

米国コーネル大学の Robinson は、果実の着果数を調節するために 1) 花芽数を調整するためのせん定、2) 花粉管伸長・果実炭素収支・果実肥大の 3 モデルを利用した摘花・摘果剤処理について紹介した。精密着果管理の今後の展望として、自律走行車等を用いた花芽、花、果実数の自動測定についても紹介した。

ニュージーランド植物食品研究所の Breen は、りんごの生産量を飛躍的に伸ばす Planar Cordon という新しい樹形システム（図 20）と好適な側枝数・枝断面積当たりの芽数について紹介した。りんごの収量は、果樹園の受光量によって決まり、従来の樹形では受光率 60% が限界である。それを極端な壁面樹形にすると受光率は 80% 以上となり、品質を維持しながら収量を 14 トン/10a にまで引き上げることができる。

コーネル大学の Fazio は、品種ごとに好適な台木を選抜する取組を紹介した。現在の世界の主要台木は、M.9 と B.9 である。しかし、品種と台木の組合せによっては着果過多で小玉、火傷病、生理障害の問題が発生する場合がある。

コーネル大学普及部門の Donahue は、ハニークリスピのビターピットについて、地域、台木、無機成分等との関連を調査した。ビターピットの発生には、マグネシウム/カルシウム比が関係し、これに

より貯蔵中の被害率を予測し、貯蔵の適否を判定できることを示した。

その他、ネット被覆下りんご園の熟収支（チリ）、果実成長のスペクトルイメージング（ロシア）、果実肥大・品質の近接センシング（ドイツ）、機械せん定の適用可能性（韓国）等の発表があった。イタリアのりんご主要産地の南チロルからの発表は、残念ながらなかった。

（朝倉）

2) ぶどう

灌水と水管理

フランスの itk 社はぶどう栽培における意思決定支援システム（商品名 Vintel）を開発している。Vintel は SPAC (the soil-plant-atmosphere continuum) 法より求めたぶどう樹の水ストレスを指標として、最適な灌水を支援するが、この水ストレスの推定には、気象条件より推定可能な気孔コンダクタンスで補正できるように Vintel を改良した。

規模が大きい圃場では、土壌タイプや地形のむら等により、圃場すべてを均等な量で灌水すると、ぶどう樹の生長、ひいては収量に差が生じる。そこでイスラエルのネタフィム社は圃場を細かくブロック状に分け、各ブロックの NDVI（正規化植生指数）から作物係数を推定し、さらに熱画像より得た水ポテンシャルで補正して算出した灌水量をそれぞれのブロックで点滴灌水する方法を開発した。この方法は、均等に灌水するよりも節水となり、ぶどう樹の生育が均一化して増収した。一方、灌水方法を精密にしようとしても、特に大規模圃場ではさまざまな要因から生育むらは生じる。そこで、カリフォルニア州立大学（アメリカ）の Brillante らは、ワイン用ぶどう圃場において樹の水分状態をマップ化し、水分状態が果実品質に影響を及ぼすことから、このマップを使用して適期に収穫をする方法を提案した。

また、ミラノ大学（イタリア）の Bianchi らは、ぶどう園における近接および衛星から取得したマルチスペクトルデータで算出した NDVI と同時に計測した熱画像から推定したぶどう樹の水分状態とを比較した。これらは様々な圃場において相関が高く、NDVI を水管理の指標に利用できることを示した。

灌水計画を立てるにあたり、圃場の蒸発散量はその基準の一つだが、この測定はかなり煩雑である。CEBAS-CSIC（スペイン）の Ramfrez-Cuesta らは、マルチスペクトルと熱センサを搭載したドローンによる近接リモートセンシングによって得たデータを基に、mapping evapotranspiration at high resolution with internalized calibration energy balance 法から多様に管理されたぶどう園の蒸発散量を精度よく推定できることを報告した。

また、このようなセンサの他に Center for Research and Development in Agrifood Systems and Sustainability（ポルトガル）の Isabel Valin らは、地面上から非破壊で圃場の土壌電導度測定できる市販化されたセンサ（EM38、Geonics 社（カナダ））を用いて、ぶどう園土壌の電気伝導度をマップ化し、電気伝導度と収量とに相関があることを報告した。

収穫と収量モニタリング

ぶどうの収量を予測することは、特にワインの醸造計画を立てる上で必要である。リスボン大学（ポルトガル）の Lopes らは、大規模な圃場において、VINBOT（ぶどう園用ロボット：www.vinbot.eu）に搭載したカメラでぶどう果房を撮影し、2次元画像の処理により、房重を推定できることを報告した。一方、Kib Innovation 社（スイス）の Bertschinger らは、スマートホンのカメラで撮影した果房の画像をもとに果房重が推定できるスマートホン用アプリを試作した。

丘陵にあり、様々な土壌条件を有するぶどう園は、場所によってぶどうの熟期が異なり、選択的に収穫する必要がある。パレルモ大学（イタリア）の Sarri らは、NDRE (Normalised Difference Red Edge) および電気伝導度を説明変数に、ぶどうの収量予測およびこれをマップ化できるシステムを開発し、ぶどうの適期収穫を支援できるようにした。

マッピングと意思決定プラットフォーム・システム

パレルモ大学の **Pisciotta** らは、衛星の高解像度スペクトルデータを使えば、ぶどう園を品種ごとに分けができ、同一品種なら、樹勢によって細分できることを報告した。またトリノ大学（イタリア）の **Novello** らは、衛星（Sentinel1 または 2）データを使えば、プラスチックシートが被覆されているぶどう園を検出できたことを報告した。カリフォルニア州立大学の **Brillante** は土壌断面の電気抵抗測定システムにより、傾斜地ぶどう園の土壌水分の3次元マップ化を試みた。

樹体成長と管理

効率的な栽培管理のため、ぶどう樹の状態を広域で可視化できる手法が求められている。**Institute of BioEconomy**（イタリア）の **Matese** らは、3種（マルチスペクトル、熱および可視）のセンサを搭載したドローンで、ぶどう園を経時的にモニタリングし、それぞれのセンサからの測定値の処理で、収量や果実品質の推定、樹形や欠株などを検出できることを報告した。ぶどうの機械せん定では、樹勢や収量にかかわらず均等に行われている。そこで、**Instituto Superior de Agronomia**（ポルトガル）の **Botelho** らは、衛星画像でぶどう園を検出し、ドローンからのNDVIで推定された個々のぶどうの樹勢に応じて、機械せん定できることを報告した。

果実成長、成熟、品質、ポストハーベスト

Hochschule Geisenheim 大学（ドイツ）の **Blank** は、非破壊ハンディセンサーで測定した葉や果粒のクロロフィル蛍光がアントシアニン含量などの果実またはワイン品質に相関があり、台木と穂木品種の組み合わせの選定に利用できることを報告した。

土壌管理、肥沃度、栄養

タスマニア大学（オーストラリア）の **Walker** らは、ぶどうの樹冠部の窒素含量を4種のセンサで測定し、近赤外線を利用した据え置き型のシステムのセンサと赤色と近赤外線の反射を利用したハンディセンサー（商品名 **GreenSpeaker**）が特に高精度であったことを報告した。

（杉浦）

3) 核果類（ネクタリン・もも）

気候変動下での水不足による食料需要の増大、高品質果物に対する消費者の期待に応えるためには、灌水管理と果樹園生産システムの改善が必要とされている。オーストラリアの **O'Connell** らは、高密度栽培したネクタリン '**September Bright**' の少量灌水（節水灌漑）について果実の成長段階ごとに（**Stage I, II, III**）, 作物の蒸発散量の 0, 20, 40 および 100% の灌水処理を行い、幹の直径, 果実の直径, 葉の光合成能力 (**PSII** の効率), 葉の蛍光, 葉のクロロフィル濃度, 葉のコンダクタンス、および収穫した果実の収量と品質（サイズ、色、甘さ、成熟度）を測定した。その結果 **Stage II**（硬核期）における 40% の少量灌水が収量・果実サイズ・品質を維持できること示した。

同じグループの **Scalisi** は、上記の処理で、クロロフィル分解がアントシアニンおよびフラボノールを指標とするよりも果実成熟のより良い予測因子であることを示した。

中国の **Wang** らはもも栽培における高畝栽培と黒色マルチの影響を評価し、高畝栽培によりビタミン C 含量が高まることを示した他、マルチとの併用により開花・成熟の早期化、せん定量の減少、高収量および高い果実品質が得られことを示した。

4) キウイフルーツ

チリの **Calderon-Orellana** らは、露地栽培のキウイフルーツ '**ヘイワード**' をプラスチックフィルムで覆うことで、被覆処理により青色光 (400-500nm) の透過性が低く、赤色光 (600~700nm) と遠赤色光

(700~800nm)の透過性が高くなることを確認した。この透過性の変化が中程度の水分ストレス(-1.3MPa と-1.0MPa の間の葉水ポテンシャル値)下において、プラスチック資材で被覆した植物体の葉の気孔の感受性(開閉性)が低くなることと関連している可能性があることを示した。

韓国の Kim らは、味も香りも優れており、皮のままでも食べられることから、栽培面積が拡大しているハードタイプのキウイフルーツについて、土壌環境要因と収量・糖度についての解析を行い、環境要因と収量の相関係数は0.66、土壌環境要因と収量の相関は温度との間に高い相関を有することを明らかにした。

5) その他

水資源に制限がある場合、塩分を含有する水を灌漑水に利用しなければならない場合もある。アメリカの Marino らは、カリフォルニアのピスタチオ園(非塩害園及び塩性土壌園)において、2017年の生育期に主幹直径変動をモニターし、最大日収縮は塩性土壌園では7月以前は蒸発散量と高い相関を示す一方、8月から9月にかけての最大日収縮は蒸発散量との相関は低いことを示した。非塩害園と塩性土壌園間の蒸発散量のより大きな違いは、シーズン初期で記録され、水使用に対する塩分の影響が動的であることを示唆した。

インドの Chawda らは、グアバ園において植物体を光の最適利用と効果的な防除のためトレリスに沿わせて枝を水平方向に配置し、様々なシステム(点滴灌水・マルチング・灌水への自動肥料注入)の導入により、慣行では30t/haの生産量を平均80t/haまで引き上げたことを報告した。

イタリアの Caruso らは、NIR-VISカメラを装備した無人航空機(UAV)を用いて、異なる植栽距離(4x4m、4x3mおよび4x2m)で植栽されたオリーブ三品種の樹姿特性を観察し、正規化植生指数(NDVI)および緑正規化植生指数(GNDVI)の有意差を栽培品種とPDの異なる組合せの間で測定した。その結果、品種ごとに異なる樹容積や栽培品種の樹形特性を決定するためにUAV-NIR-VIS技術を応用することが可能であることを示した。

ベルギーの Delalieux らは、西洋なし果樹園において、ドローンを利用した花房の計測の自動化を検討し、温度や土壌EC値等の環境要因やその強度が葉の着生に及ぼす影響について検討を行っている。同グループの Vandermaesen らは、2018年4月~8月にかけて4ヶ所の西洋なし園地を土壌センサ(EC測定)、作物センサおよびリモートセンシング(ドローンによるRGB、多波長カメラによる計測、温度測定)を行い、花房数、クロロフィル含量、枝梢長、土壌中養分、土壌中水分含量、果実品質・収量との主成分解析を行った。その結果、ドローン画像の白色ピクセル数は最終的な収量の代わりとなることを示した。また、レッドエッジクロロフィル index のような植生指数が、窒素含量を始め果実中のミネラル含量と相関があることを示した。

オランダの Roosjen らは、オウトウショウジョウバエのモニタリングに撮影可能なトラップを用い、そのトラップをUAVにより撮影して画像処理を行うことにより、捕捉数を確認するシステムを開発している。UAVは自立飛行を行い、トラップの画像を撮影し、クラウドベースのストレージに転送する。このシステムにより、オウトウショウジョウバエの発生がほぼリアルタイムで計測されることとなり、生産者の意志決定支援に寄与することが期待されていることを紹介した。

ピサ大学(イタリア)の Caruso らは、近赤外-可視センサを搭載したドローンでオリーブ園をマッピングし、樹冠容積やせん定量が推定でき、栽培管理や品種の違いも検出できることを報告した。

(喜多、杉浦)

6) スマート農業 (情報化と機械化、ドローン)

スマート農業には情報利用や機械化・自動化が挙げられるが、ここで、シンポジウムで発表された課題の内、スマート農業に関する課題を整理する。ここまでの報告内容と重複があるが、システム、機械研究開発の観点から報告する。

情報利用に関するスマート化の発表が多く、次の通りであった。Davide Bianchi ら, *Universita degli Studi di Milano* (イタリア) はトラクタ搭載のマルチスペクトルカメラにより、NDVI を測定し、最適な灌水量をモデルにより求め、精密灌水する発表を行った。G. Marino ら, *UC Davis* (アメリカ) は主幹径を測定するシステムにより主幹径を自動で測定し、灌水量を精密に管理する方法の研究発表を行った。Brillante ら, *California State University* (アメリカ) はワイン用ぶどうについて水分状態マップ (water status maps) により、水分状態の違うほ場から品質の異なる果実を別々に収穫するシステムの研究を行っていた。K. Bresilla ら, *Universita di Bologna* (イタリア) は収量予測のためのニューラルネットワークの R-CNN、YOLO (You-Only-Look-Once) により、りんご着果数を計数するモデルを開発した。James Taylor ら, *University of Montpellier* (フランス) は基調講演で霜警告、画像処理での害虫数カウント、病害リスクモデル、防除タイミングが可能な精密管理のための Web プラットフォームの開発が進められていることを紹介した。Luca Corelli-Grappadeli ら, *University of Bologna* (イタリア) は土壌水分センサを用い、イチゴとりんごを対象に灌水タイミングの向上を支援するクラウド型意思決定システムの研究を紹介した。

ドローンに関する研究も多く、次の通りであった。機械、情報利用にするスマート化に分類される。Alessandro Matese ら, *University of Palermo* (イタリア) は RGB, マルチスペクトル、熱画像カメラの3種のカメラをドローンに搭載し、ぶどう園で3D-Alphashape 法により、3次元形状を推定し、マップを作成した。Giovanni Caruso ら, *University of Palermo* (イタリア) は、オリーブのドローンによる空撮画像から NDVI を計算し、NIDI とオイル収量の関係を求めた。Yasmin Vanbrabantn ら, *KU Leuven* (ベルギー) はドローン搭載のカメラで撮像した果樹園内の樹冠画像から花そうを抽出・カウントすることにより、その分布図を作成した。Zhaw ら, *Weedenswill* (スイス) はドローンにより害虫モニタリングをするための撮像方法について、ドローンの樹体への接近の容易さについて研究した。Giovanni Caruso ら(イタリア) はドローンを用いて RGB、NIR の画像を撮像し、オリーブ、ぶどう、カンキツに対して、NDVI を計算した。Francesco Mutatore ら, *CNR-IVALSA* (イタリア) は UAV を用いて2画像の RGB 画像を撮像し、3D化をすることによってオリーブの樹幹容積を推定する研究を行った。Charles Cannon ら, *Illinois Institute of Technology* (アメリカ) はドローンに搭載した LIDAR、マルチスペクトルカメラにより、病害やストレスを検出する技術開発を行っていた。

機械のスマート化の発表はほとんどが作物、または、ほ場情報取得のための研究開発であった。Martin Penzel ら, *ATB* (ドイツ) は RTK-GNSS による自動走行トラクタに LIDAR を搭載してりんごの樹冠形状の計測を試みた。Carlos M. Lopes ら, *Agronomia Universidade de Lisboa*, (ポルトガル) は VINBOT というぶどう園用小型自動走行を用いて収量のマップの作成の研究を行った。RTK-DGPS とエンコーダで自己位置を検出し、RGB カメラ、WiFi ルーターで情報を転送する。さらに、レーザーにより形状を測定する。ぶどうの果実数をモニタリングするために AI の1つである CNN (Convolutional Neural Networks, 畳み込みニューラルネットワーク) を利用していた。Pablo Storchi ら, *CREA Research Centre* (イタリア) は LIDAR や超音波センサを用いてぶどう園で樹体の形状に応じた最適な噴霧量を可変散布する技術を開発した。

情報収集、自動化が組み込まれない機械開発の発表については、Andreo Lonardi ら, *Universita degli Studi Palermo* (イタリア) はぶどう園用可変施肥機を開発し、肥料コストを35%低減した。また、開

発した散布薬液回収型ドリフト低減防除機の紹介があった。Gregory A. Lang ら, Michigan State University (アメリカ) はリンゴのトラクタ装着型機械せん定機が利用できる壁型樹形を研究し、壁面樹形に適合した、トラクタ装着型前装式の機械3機種、せん定機、摘果機、精密静電授粉機の開発について紹介した。Dongyong Lee ら, Apple Research Institute (韓国) はリンゴを機械せん定した場合と慣行の手作業によるせん定をした場合の収量、新梢発生状況を比較し、調査した。

(太田)

3. 現地調査

ワイナリー・ぶどう園、オリーブ園の省力機械等を見学した。

1) ワイナリー・ぶどう園

(1) ぶどうの栽培概要

視察ワイナリーは、フェウドアランチョ (Winery Feudo Arancio, <https://www.feudoarancio.it>) であり、パレルモから南西に約 60 km、海岸から約 10 km 内陸の丘陵地にある。このワイナリーは、欧州の環境管理・環境監査スキーム (EMAS 2 - Eco-Management and Audit Scheme) を 2002 年にイタリアでは最初に取得している。環境に配慮した取組には、農薬等化学物質の削減、銅や硫黄の適正使用、フェロモン利用、地表面の適正管理、水資源の確保、ソーラーパネル利用等がある。

視察した圃場は、列長約 200m、幅は最大で約 240m で、樹列が等高線と垂直なるよう植栽にされていた。そのため、斜面を上下に移動しながら、薬散等の作業機は移動する。

植栽密度は、樹間 1 m × 列間 2 m、樹高は約 1.8m であり、片側主枝垣根仕立て (主枝高さ約 70cm) の短梢せん定栽培である。整枝については、新梢数は 10 本/m、3 高度にそれぞれ番線を 1 対設置し、一对の番線の間を新梢が通るように誘引する。新梢そのものは固定していない。主幹から直接伸長した新梢を利用して主枝を更新する。房周りの葉は摘葉する。

地表面管理は、雑草草生であり、樹冠下 (樹列) は清耕とし、除草剤は使用しない。灌水は、樹列ごとに灌水用チューブを主枝のやや下側の高さに設置し行う。園内に貯水池が有り、灌水用とする。





(2) 防除機の実演

ワイン用ぶどう園トラクタ装着式 PTO 駆動果樹用防除機の実演があった。静電散布により、高い付着性能が確保され、慣行より小散布量で防除効果が慣行程度とのことであった。静電散布はドリフト対策にもなり、ヨーロッパは環境保全型農業への関心が高く、日本では導入されていない果樹用の静電散布機が市販されていた。高さの低い垣根仕立てであるので送風量も小さかった。日本の果樹用防除機は自走式スピードスプレーヤーが主であるが、見学した果樹園はトラクタ装着型であるので汎用利用も可能で、防除機の更新にはトラクタは含まないので経済的であると考えられた。低い垣根仕立ての樹形は、ドリフト低減、散布量の節減にもなり、樹形改造と機械開発が適合していると考えられた。



(3) ドローン

研究用ドローンの展示があり、ドローンからマルチスペクトルカメラでカンキツ園を空撮する研究があった。近赤外画像を解析、土壌水分を推定し、水分分布マップを作成していた。今後の精密管理に役立つとのことであった。しかし、視察園地のぶどうの植列は長く、どの面積を一区画として扱うかなど、設備投資とのバランスも大きな課題であると考えられた。

ドローンではほ場を空撮する研究はシンポジウムでも多く発表されていたが、ほ場の水分状態、生育状態の把握の研究がほとんどであった。空撮により得られた情報と、樹体の状態や果実形質との相関を求め、どの情報が有効かを判断していたが、情報を樹体制御にまで結びつけている報告は少なかった。



(4) ぶどう収穫機

ワイン用ぶどう収穫機を見学した。垣根仕立てのぶどう樹列をまたいで走行し、収穫部のアタッチメント付きベルトで果実を落として機体下部の回収部で回収し、伴走する運搬車に運搬する。大型の機械で専用機であるが収穫作業が大幅に効率化される。垣根仕立てに適合している。ワイン用ぶどうは加工用であることもあり、一貫体系が確立されており、機械に合わせた樹形になっていた。収穫機の果実を採果する部分は特殊な構造となっており、高精度に採果するために改良を繰り返したと考えられた。



(5) ドリフト低減型防除機

樹体を挟むような形で樹列の両側から同時に噴霧し、かつ、噴霧部のカバーにより、互いに反対側から噴霧した薬液が飛散しない構造のドリフト低減型防除機を見学した。樹体が大型であったときのドリフト低減型防除機であるが、現在は樹形が小型化され、静電散布機を導入したので利用していないとのことである。樹形に合わせて機械が開発され、より構造が簡素化されていた。ドリフト低減、環境保全への取り組みも行われていた。



導風型の防除機である。送風機からの送風により、付着性能を高め、かつ、側方からの噴霧によりドリフトを低減できる構造である。この防除機もドリフト低減と付着性能を高めた構造で、日本のSSとは異なる構造である。構造の大きく異なる防除機を4台保有していることから生産者の高いドリフト低減への意識が感じられた。

(6) せん定・摘葉機

樹体内つる・葉せん定機である。ローラ間が5cm程度空いて、突起のついた2本1対のローラの中に樹列を通すことにより樹体内の細いつる、葉をせん定する。機械的にせん定をする。突起の形状が特殊であり、せん定をするために改良されたと考えられた。



樹形成型のためのせん定機である。せん定も機械的に行うことにより、省力化が進められている。



(7) トラクタ他

トラクタ装着型中耕ロータリ。収穫機は専用の自走式であるが、他の機械はトラクタ装着式であり、トラクタを中心にした機械化体系であった。



通路の草生を管理するためのトラクタ装着型中耕播種機である。



(8) 醸造所



醸造所を見学した。ワイン醸造所、試飲所、庭園があり、見学者を多く受け入れているようであった。広大なぶどう園の中に醸造所、試飲所、庭園が位置し、観光農園としても魅力的な果樹園であった。

2) オリーブの苗植え機

パレルモ大学とメーカーの共同研究である自動走行トラクタによる苗植え機である。RTK-GPSによる自動走行であり、受信機が苗植え機上部、基地局が果樹園端に備えられていた。オリーブの自動走行、苗植えの実演が行われた。今後イタリア国内でオリーブ園を増加させるため、必要とのことであった。自動走行トラクタを果樹園用の作業機に適用させる研究は世界的にも少ないため、情報交換が必要と考えられた。水稲用でロボットのトラクタが市販され始めたが、自動走行技術の果樹生産への応用が期待される。



3) オリーブ加工場

オリーブオイル工場のオリーブ選別機の実演を見学した。画像処理により大きさと色で選別し、空気圧でローラコンベア上のオリーブを吹き飛ばして選別トレイに收容する方式であった。



4) オリーブ収穫機、センシング

オリーブ収穫機の実演を見学した。トラクタけん引装着式で、PTO 軸駆動で油圧により、収穫部、搬送部を駆動させ、走行しながら連続的に収穫していた。樹体内に揺動するプラスチック製リングを接触させて、叩き落すような作用でオリーブ果実を離脱させ、その後、コンベア上に果実を落下させ、コンベアでコンテナまで搬送していた。

オリーブの茎葉も果実と一緒に折れることはあったが、コンテナへの混入は少なかった。オリーブの収穫は樹幹を振動させて収穫するタイプと樹列に対して振動体を接触させながら収穫する機械が普及しているとのことである。

イタリアでは、機械化収穫がほぼ普及している。収穫機械は栽培研究者と機械研究者が協力して開発しているほか、見学圃場では多様な品種が列植されており、大学と共同で機械化体系に適した品種選定も進めているとのことであった。





オリーブの葉水分状態、果実径を計測し、データを自動収集するシステムである。灌水量を精密管理する研究のために取り付けられていた。



(太田、杉浦、喜多)

4. 現地調査の感想

今回の学会における発表および視察を通じ、現時点ではフィールドからの計測技術は実用レベルに達しており圃場、あるいは植物個体レベルでの情報収集、植物体の状態の解析に利用可能であることを実感した。その一方、それをどのように圃場で活用できる技術（装置）として組み上げるか、ハード面の対応が追いついていないように思われた。さらに、圃場管理については、個別管理に落とし込むほど個体ごとにセンサや灌水のための制御装置を設置数が増すことになるほか、精度の高い管理を試みるほど、システムや装置が高価なものになるなど、導入のためのハードルがあがることになり、測定の「精密」と圃場管理単位の「精密」さに乖離があるように感じた。

我が国は一部果実を除き、基本的に生食向け果実を生産するため、「精密」制御は個々の果実を高品質化（高付加価値化）する方向に向く。すなわち、樹体ごとの制御を行い、品質を高めて行く方向にあり、生産者が樹体ごとに管理を変えて対応しているので、これを精密管理で行おうとすると、樹ごとにセンサや制御装置が必要となる。一方、海外において加工向けの果実生産を行う場合には「精密」制御は園

地全体として収量が増大する園地全体としての「最適管理法（最高収益達成管理法）」の方向に向くと思われ、導入コストから考えると、「精密」制御による果樹栽培は小規模園での導入や高品質果実生産に向けた個別管理が必要な管理体系では導入が可能か、改めて検討の必要があると考えられる。

また、現地視察では、機械を導入する場合でも如何に導入コストを低くするか、そのためにぶどう園では収穫機以外はトラクタをプラットフォームとした機械利用体系が構築されていた。効率的な機器の運用を追究しており、日本国内の果樹農業の機械化を進める上でもそのスタイルは追従すべきである。また、視察オリーブ園においては稼働している収穫機に対して適性の高い品種を選抜していると思われる取組がなされており、「樹に応じた機械開発」から、「機械に応じた品種選択・栽培管理技術（樹形制御等）の構築」といった、よりフレキシビリティの高い側の研究を推進させていくことが省力化（機械化）や精密農業のさらなる加速化・普及のためには不可欠であると考えられた。

「精密」農業に「型」があるわけではなく、求める形質により制御する対象や要因が異なり、「精密」農業のスタイルが変わることから、様々な視点からの情報収集や研究開発が今後も必要である。

（喜多）

農業のスマート化については主に①センシング、情報を利用した精密管理などの情報化によるスマート化、②トラクタやマニピュレータ型ロボットを利用した作業の機械化、自動化によるスマート化に分けられる。機械・システム開発の観点から、事前調査を含めて、ヨーロッパの果樹生産のスマート化に関する調査結果をまとめ、今後の日本の果樹生産のスマート化の方向性を考える。調査したシンポジウムではスマート化に関する研究のほとんどがワイン用ぶどうの情報化であり、土壌水分や収量（生育指標）など計測したセンシングデータに基づいてマップを作成し、区画ごとに灌水を変えるなどの精密管理を行う研究が多かった。日本は気候が異なり、灌水量を精密に管理する必要はなく、これまで蓄積したデータや経験による緻密なせん定、施肥、摘果などの作業により、精密な栽培管理により、高品質果実を生産してきた。このことから、日本の果樹生産の情報化によるスマート化はこれまで蓄積したデータや経験を緻密な栽培管理に活用できるようにすることが重要と考える。具体的な取り組みは難しいと考えられるが、初期の取り組みとしては、せん定、施肥、摘果、収穫などに関するデータを蓄積し、数値化、デジタル化することにより、AIなどを利用した栽培管理へ適用し、栽培技術を向上する研究開発が1つの方策と考える。データの蓄積と活用が日本の果樹生産の更なる高品質化と高収量化に寄与すると考えられる。

事前調査で情報化によるスマート化の研究開発例として、ぶどう園用意思決定支援システムが複数開発されていることがわかった。気象、土壌水分、生体情報などに基づいて灌水量の設定、病害虫防除方法の決定を支援するソフトウェアである。市販システムは複数あり、販売会社はそれぞれアメリカ VineMetrics 社、スイス PreDvine 社、イタリア MECS-VINE 社、フランス Fruition science 社、ドイツ Picores 社である。ぶどうはヨーロッパでワイン製造用として主要な作物のため、単一の作物で意思決定システムが開発されているが、日本では、開発メーカーの収益性を考慮すると果樹の単一作物の意思決定支援システムを開発することが困難であると考えられる。しかし、公的研究機関の研究データを活かして栽培・防除方法の意思決定に役立つシステムの開発を進めることが重要と考えられる。日本では機能が少なく、対象作物、対象作業が少なくても AI などを利用した低価格な意思決定ソフトウェアが開発できればよいと考えられる。

機械化・自動化については、ぶどう園、オリーブ園をはじめ、果樹のトラクタ体系による機械化が進められている。移植作業の省力化のため、自動走行トラクタによるオリーブ苗の移植の研究も行われていた。ぶどうについては、日本はヨーロッパと異なり、樹形が大きく異なる棚栽培を行っているので、

現段階では、日本ではトラクタを利用した作業機はごく一部の垣根仕立て栽培にしか適応しないと考えられる。りんごなどでの樹列に沿ってトラクタが走行できる樹形であればトラクタを利用した作業機の開発が可能であるが、日本ではSS、乗用型草刈機が普及しているので、寸法・形状がこれらに基づいた作業機の開発も検討する必要がある。現地調査ではマニピュレータを利用した収穫ロボットなどの開発の発表はなかったが、ヨーロッパではスペインの研究機関 IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) が開発したオレンジ収穫ロボットが有名である。事前調査では現在の開発経緯が見られず、現在開発が継続されているか不明である。この収穫ロボットは画像処理により対象果実を検出してマニピュレータにより収穫する。また、ドイツボッシュ社は Trimbot という低木のせん定を行う自動走行のロボットを近年発表した。

シンポジウムでは情報を収集する走行型ロボットが複数発表されていたが、事前調査でも、複数の開発が見られた。ぶどう園で自動走行を行い、Lidar により 3 次元形状や熱画像を計測したりし、モニタリングをするロボットとして、スペインロボットニックオートメーションの Vinbot、スペインラ・リオハ大学の VINEROBOT、スペインバレンシア工科大学の VineScout がそれぞれの自動走行モニタリングロボットの開発を行っていた。いずれの研究も走行ロボットが樹列間を自動走行し、情報収集や作業を行う。これは①センシング、情報利用による精密管理などの情報化によるスマート化と②トラクタやマニピュレータ型ロボットトラクタを利用した作業の機械化、自動化によるスマート化の組み合わせである。日本でも果樹園対応の自動走行技術開発が進められており、情報収集による栽培面での効果やメリットを明らかにするとともに、情報収集型機械や情報収集を自動で行う機能がなくても、省力化機械開発は今後とも進められるべきと考える。

(太田)

表 14 の通り、異なるテーマごとにセッションが設定されているが、今回報告があった精密農業に資するセンシング技術は、それぞれの発表内容でセッションまたは樹種をオーバーラップしていた通り、利用目的はそれぞれ異なるが、多分野に応用が可能であることが再認識された。ただ、このセンシングの技術およびこれにより得た出力値を目的にあわせてどう利用できるのかについて発展途上であった。そのため、この技術を取り込んだ、現場で (特に我が国で) 直ちに使える”スタンダード”な精密農業と言えるものはなかった。今後、各国においてこの技術のさらなる進化に期待するばかりでなく、我が国の実情に合わせたセンシング技術とあわせてその利用法の開発が急務であると思われた。

(杉浦)

果樹の精密農業に関する最新の研究動向を把握することができた。当初、りんごに関する発表はないのではと思われたが、米国コーネル大学、ニュージーランド等の最新情報を得ることができ、大変有意義であった。ニュージーランドの Planar Cordon 樹形については、理論的に最大収量を目指すための取組であり、日本でも新樹形の検討に際しては品質だけでなく受光量-収量という観点での評価が必要かもしれない。ロボットについては、スペインのグループの発表を期待していたが、スペインからの発表は 1 課題 (リモートセンシングによるぶどう園の蒸発散) のみであった。

ワインぶどうについては、園地が大規模複雑で土壌、気象条件が異なることから精密な樹体管理・品質評価が重要であることがうかがえた。また、大型の収穫機械、静電噴霧式のスプレーヤも見られたが、コスト的に見ると導入は大規模園に限られると思われた。

精密農業、スマート農業といっても、特別な技術ではなく、多くは日本でも同様の研究が行われている。しかし、この分野は果樹生産の持続可能性を考える上でも極めて重要であり、研究の進展も早く、

世界的な国際連携、情報交換が密に行われている。今後も、この分野の世界的動向に注視しながら、今後の日本の果樹農業の方向、必要とされる果樹スマート農業・精密農業について検討していく必要がある。

(朝倉)

VI スマート農業、精密農業導入上の課題

スマート農業、精密農業の導入上の課題について、いくつかの論文から要点を整理した。

オランダのグループは、オランダ、フランス、スイス、イタリアにおける気候スマート農業技術開発の導入と普及の課題を取りまとめている（表 15）¹⁵²⁾。現場の実態に合わない技術開発や専門用語のわかりにくさについては、技術開発の早い段階で使用者の関わりが重要であることを指摘している。

表 15 スマート農業導入に際しての使用者側と供給側の課題

| 使用者側の課題 | 供給側の課題 |
|------------------------|---------------------|
| 技術に対する低い認知度、専門用語がわからない | 価値の提供とインパクトを示すのが難しい |
| 高いコスト、長い返済期間 | 資本/投資に対する知識不足やアクセス |
| 検証済みの技術が少ない | 冷淡な規制環境 |
| 規制、政策的問題 | 製品が高すぎ、使用者の長い返済期間 |
| 農家に情報が届きにくい、農家への指導訓練 | 使用者へのアクセス、コンタクト |
| 現場の実態に合わない研究開発、政策 | |
| 消費者の要望が低い | |
| サプライチェーンでの経費/利益の不均衡な配分 | |

出所：Long, T. B. et al. (2016)¹⁵²⁾ より作成

スイスのグループは、スマート農業の好機、課題を整理している¹⁵³⁾。好機については、肥料、農薬の最少化・部分施用、温室効果ガスの削減、投入資源・労働力削減による利益向上、品質・生産過程の透明化による消費者の理解向上を挙げている。一方、課題としては以下の事項を指摘している。

- ・データはだれが所有するか？ 特にビッグデータ
- ・技術の責任、信頼性
- ・高コスト、知識・技術の不足
- ・ICTの利益は、先進国の主要作物（小麦、トウモロコシ、米）に限られる可能性
- ・農業就業人口の減少、優秀な人材は他の分野へ
- ・農家の知識と新技術を結びつける

農業就業人口の減少について、大規模化・省力化というプラスの面もある。しかし、それだけ働き場所がなくなるという負の面もある。また、AI、IoT、ビッグデータ、ロボット等の優秀な人材は、農業分野を選ばずに他分野に流れることも懸念されている。

スウェーデンのグループは、農家に ICT 技術を導入してもらうための対応策を整理している¹⁵⁴⁾。農家は ICT 技術を使いたいと思っても、十分に使いこなしていない。使用者中心のデザイン（User-centered design）が必要なことが示されている。Precision agriculture Sweden（POS）は意志決定支援システムの設計開発に際して、以下の間を挙げている。「どんな情報が必要か、それはいつ必要か、それはだれが必要か、それはどこで必要か、それは何故必要か」。こうした視点は、すべての技術開発に当てはまる。

イタリアのグループは、スマート農業導入に関係する要因として、ほ場面積、専門的な請負業者、コ

ンピュータ利用、年齢、学歴をとりあげている¹⁵⁵⁾。農場でのコンピュータ利用については、センサ統計(2010年)によれば4%であり、普及が進んでいない。一方、新技術を請負うサービス業者は、普及が進み、イタリア農場の1/3は利用しているという。

アメリカのグループは、りんご産業での主要な課題は、労働力と気候に関係したものであり、精密農業がその解決に役立つという¹⁵⁶⁾。生産者が精密農業技術を導入するのは、実用化研究結果があり、生産者が普及プログラムに積極的に関与し、普及専門家との研究レベルの情報交換がうまくできている時である。またコストについては、レンタルオプション、サービスのみ提供により克服できる。

日本へのスマート果樹農業導入について

日本における果樹のスマート農業については、技術開発とともに実証研究が進められている。ここでは、欧州やイタリアの事例を参考に、スマート農業導入の課題と検討方向を考えてみたい。

○日本の果樹農業、どこを目指すのか？

海外のスマート農業については、現状ではそのまま導入できる技術は限られると思われる。それは、技術開発の前提となる、圃場面積、気象・土壌・地形、課題と目指す方向等が異なることが要因である。大規模醸造ぶどう園の機械は、我が国の狭く傾斜のある圃場には適さない。マルチリーダー樹形も、気象・土壌で樹体の反応が異なり、台風の影響も考えられることから、導入に際しては栽培試験を積み重ねる必要がある。欧州では持続可能性、環境への配慮が大きな課題であり、スマート農業もこうした観点から導入が進むと考えられる。日本では、高品質、省力化が大きな柱であり、課題と目指す方向が異なる。

どこを目指すかについては、日本の果樹農業の強み、弱みを整理しながら課題と技術開発の方向を考察する必要がある。この場合、南チロルのように規模の小さいことは弱みではなく、それを強みに変えるような視点が必要だと考えられる。日本は、「精密さ」なら世界トップと言ってもよいが、その精密さをスマートに活かすことについては、必ずしも十分ではないと思われる。さらに、今後の重要な視点としては、広い意味での持続可能性、すなわち日本の果樹農業をどのようにして維持発展させていくが重要となる。

スマート果樹農業に関する技術は、幅広く考える必要がある。南チロルには、ロボットや大型機械は見られないが、各部門が密接に連携した生み出された栽培、貯蔵、流通等の技術がある。我が国でも、生産者、大学、指導普及機関、研究機関には、使えるノウハウ、データが数多くあると考えられる。これらを利用することで、新しいモデルや意志決定システムを組み立てることができると思われる。

スマート農業技術は、現在の農業の形を大幅に変えることが予想される。それが果樹分野にどの程度浸透していくかは明らかでないが、果樹についても世界中で精力的に技術開発が進められている。我が国でも、海外の動向を注視しつつ、スマート農業技術開発を進めていく必要がある。

○どのような体制、連携で技術を開発するか？

農家で使えるスマート農業技術をどのように開発するかが重要である。EIP-AGRIでは多様なメンバーが参画し、インタラクティブな議論を経て課題設定、研究・技術開発が進められている。スペインで開発が進められているVineScoutのように、オープンなセミナーや開発機のデモンストレーションを行い、生産者や外部研究者等の意見を収集する取組は参考になる。

スマート農業は、新しい分野であり、協力することが最大の効率化になると考えられる。国内連携だけでなく、国際連携も必要となるかもしれない。

引用・参考文献

152. Long, T. B. et al. (2016). Barriers to the adoption and diffusion of technological innovations for climate-smart agriculture in Europe: evidence from the Netherlands, France, Switzerland and Italy. *Journal of Cleaner Production*. 112: 9-21.
153. Walter, A. et al. (2017). Opinion: Smart farming is key to developing sustainable agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 114: 6148-6150.
154. Lindblom, J. et al. (2017). Promoting sustainable intensification in precision agriculture: review of decision support systems development and strategies. *Precision Agriculture*. 18(3), 309-331.
155. Bucci, G., et al. (2019). Exploring the impact of innovation adoption in agriculture: how and where Precision Agriculture Technologies can be suitable for the Italian farm system? *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 275, 012004.
156. Gallardo, R. K. et al. (2019). Perceptions of precision agriculture technologies in the US fresh apple industry. *HortTechnology*. 1: 1-12.

(朝倉)

VII 座長まとめ

以上、II章からVI章にわたり、欧州の果樹農業の特徴と課題、スマート農業を巡る情勢について現状の整理・把握を行った。更に栽培面積が小さく、日本にも参考となる点が多いと考えられるイタリアにおける、南チロル地区、シチリア地区の果樹生産とスマート農業・精密農業について検討委員会で調査結果の取りまとめを行った。

我が国の果樹農業においては、スマート農業技術の社会実装が進むものはまだ浅く、普及に際してのスマート農業技術や情報利用に関してのノウハウの蓄積が少ないことから、欧州の先進事例を参考とすることが不可欠である。しかし、それは欧州を模倣することだけでなく日本の果樹農業の形態に合わせた形で展開していくことを極めて強く意識しておくべきである。その観点からも、本調査報告では技術開発のバックグラウンドとなる産業の歴史、実態、政策的背景（EU内共通農業政策・研究政策等）、研究方向性についても取りまとめを行い、技術開発が産業の形態やとりまく環境と結びついて進められることを意識した執筆に努めた。

スマート農業・精密農業は収穫や薬剤散布など機械的に行われ達成される管理と、センシングや情報利用による栽培管理を融合させることが重要である。しかし、現状では前者が先行し、後者については得られた情報は生産者・経営者の意思決定支援に用いられており、意思決定支援システムに基づいた栽培管理の提言は可能であるが、灌水等の管理そのものを自動制御するまでには至っていない。どちらかに偏った技術の進展はその後の多分野（多樹種・多用性）に渡る展開や栽培管理（システム）との協調を困難にすることが想像される。両者の研究・開発をバランスよくすすめ、融合させていくことが今後の技術開発や普及でも大きな課題であり、実情に合わせた利用法の開発が重要となる。

また、V章に取りまとめた精密農業研究の現地実態調査として出席した国際園芸学会「果樹、ぶどう園の精密管理に関する国際シンポジウム」では、委員も精力的に情報収集に努め、本調査報告として海外の研究開発事例や動向を紹介した。海外においても多岐にわたる視点から幅広い取り組みが行われていることを各委員が再認識し、今後の情報交換や国際連携の必要性を従前以上に感じたところである。

関係諸機関におかれては、本調査資料を参考としていただき、我が国果樹農業のスマート農業化・精密農業化推進の一助となれば幸いである。

(喜多)

海外果樹農業情報 刊行物一覧

| No. | 調査報告書名 | 発行年月 |
|-----|--|--------|
| 84 | 中国におけるリンゴの生産・流通事情調査報告書 | 05. 6 |
| 85 | タイにおける果実の流通・販売の実態に関する調査報告書 | 05. 6 |
| 86 | 日米におけるフードガイドの新たな動きについて（くだもの編） | 05. 7 |
| 87 | インドネシアにおける熱帯果実の生産・流通事情調査報告書 | 06. 1 |
| 88 | 海外の果実生産・貿易状況 2006年版 | 06. 4 |
| 89 | 台湾における果実の生産・流通・消費事情等に関する調査報告書 | 06. 6 |
| 90 | スペインにおけるカンキツ類の生産・流通事情調査報告書 | 06. 10 |
| 91 | ベトナム・韓国・インドネシア・台湾における果実の生産・流通事情調査報告書（補遺版） | 06. 10 |
| 92 | チリにおける落葉果実等の生産・流通事情調査報告書 | 07. 2 |
| 93 | 台湾における果実の輸入関連制度に係る調査報告書（付 果実の生産・流通状況） | 07. 5 |
| 94 | アラブ首長国連邦・インド・タイにおける果実の生産・流通・消費事情調査報告書 | 07. 7 |
| 95 | ニュージーランドにおける果実の生産・流通・消費事情等調査報告書 | 08. 3 |
| 96 | 台湾における日本産果実の流通・消費実態調査報告書 | 08. 6 |
| 97 | 韓国における主要果実の生産及び輸出入等に関する実態調査報告書 | 08. 7 |
| 98 | ドイツ・オランダにおける果実・果実加工品の生産・流通状況調査報告書 | 09. 2 |
| 99 | 台湾における日本産果実の生産・流通・消費実態調査報告書 | 09. 6 |
| 100 | 世界の主要果実の生産・貿易概況 2009年版 | 09. 11 |
| 101 | 中国におけるボンカン（リンゴ）の生産・流通実態調査報告書—福建省及び浙江省を中心として— | 09. 11 |
| 102 | 米国におけるリンゴの加工品等実態調査報告書 | 10. 2 |
| 103 | ロシアにおける日本産果実の販売可能性及び同国の果樹農業・政策基礎調査報告書 | 10. 7 |
| 104 | 米国連邦行政組織による果実消費拡大に向けた取組みに係る調査報告書 | 10. 8 |
| 105 | 台湾における日本産果実の流通・消費実態調査報告書 | 10. 8 |
| 106 | グローバリゼーション下の米国の果汁産業及び新たな生産流通システム実態調査報告書 | 10. 8 |
| 107 | インドにおける日本産果実の販売可能性及びインド産ブドウの対日輸出可能性調査報告書 | 10. 10 |
| 108 | カナダの果樹農業・政策実態調査報告書 | 11. 3 |
| 109 | 米国カリフォルニア州におけるアウトウの生産・流通事情調査報告書 | 11. 6 |
| 110 | 台湾における果実の生産・流通・消費等実態調査報告書 | 11. 6 |
| 111 | 中東における日本産果実の販売可能性調査 | 11. 8 |
| 112 | ブラジルにおけるオレンジ及びオレンジ果汁を中心とした生産・流通事情調査報告書 | 11. 9 |
| 113 | 中国の主要都市における日本産果実の販売可能性及び中国のアウトウ産地調査報告書 | 11. 10 |
| 114 | 世界の主要果実の生産・貿易概況 2012年版 | 12. 3 |
| 115 | 台湾における日本産果実の流通状況等実態調査報告書 | 12. 6 |
| 116 | 中国におけるブドウの生産・流通・消費調査報告書 | 12. 10 |
| 117 | 韓国の対米国 FTA 締結による韓国果樹産業への影響等調査報告書 | 12. 11 |
| 118 | 台湾における東日本大震災後の日本産果実等流通状況実態調査報告書 | 13. 3 |
| 119 | 中国におけるモモの生産・流通・消費調査報告書 | 13. 3 |
| 120 | 世界の主要果実の生産概況 2013年版 | 13. 10 |
| 121 | 台湾における日本産果実の流通状況及び輸入に関する規制等に係る調査報告書 | 14. 3 |
| 122 | 世界の主要果実の貿易概況 2013年版 | 14. 3 |
| 123 | 世界の主要果実の生産概況 2014年版 | 14. 10 |
| 124 | 世界の主要果実の生産概況 2015年版 | 15. 3 |
| 125 | 台湾における日本産果実の流通及び輸入促進に向けた諸課題に係る調査 | 15. 3 |
| 126 | ニュージーランドの果樹農業及び香港の日本食品・果実事情調査報告書 | 15. 8 |
| 127 | 海外の果樹産業ニュース 2015年度版 | 16. 3 |
| 128 | 台湾における日本産食品の輸入規制強化ともなう日本産果実の流通への影響に係る調査報告書 | 16. 3 |
| 129 | 海外の果樹産業ニュース 2016年度上期版 | 16. 10 |
| 130 | 世界の主要果実の生産概況 2016年版 | 17. 2 |
| 131 | 海外の果樹産業ニュース 2016年度下期版 | 17. 3 |
| 132 | 台湾における日本産果実の流通状況及び輸入促進に向けた諸課題に係る調査 | 17. 3 |
| 133 | 海外の果樹産業ニュース 2017年度上期版 | 17. 9 |
| 134 | 世界の主要果実の生産概況 2017年版 | 18. 2 |
| 135 | 世界の果樹産業ニュース 2017年度下期版 | 18. 3 |
| 136 | 台湾における日本産果実の流通・消費の状況及び輸入促進に向けた諸課題に係る調査 | 18. 3 |
| 137 | 海外の果樹産業ニュース 2018年度上期版 | 18. 10 |
| 138 | 世界の主要果実の生産概況 2018年版 | 19. 2 |
| 139 | 海外の果樹産業ニュース 2018年度下期版 | 19. 3 |
| 140 | 米国ワシントン州のりんご生産の現状と省力・機械化技術に関する調査報告書 | 19. 3 |
| 141 | 海外の果樹産業ニュース 2019年度上期版 | 19. 10 |

