

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

2019 年 3 月

(公財)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

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。しかし、海外の果樹の省力樹形、機械化研究についての情報収集は十分とは言えません。

先進国の中で最大の果樹生産国である米国では、メキシコからの移民労働者の数が減少していることもあり、省力・機械化は、果樹農業を持続的に発展させるための主要課題と考えられています。特に、りんごについては機械化収穫が困難であり、りんごの最大産地であるワシントン州では、移民労働者の不足は深刻な課題となっています。

りんごは、省力樹形の研究・普及が最も進んでいる樹種であり、将来導入が進むと考えられる果樹園の自動化・機械化にも適応しやすいと考えられます。ワシントン州立大学は、こうした研究の世界的な拠点の一つであり、最近、注目を集めているりんごの収穫ロボットについても研究が行われています。

そこで、米国最大のりんご産地であるワシントン州について、りんごの生産動向、生産・流通技術、労働力確保の状況、省力・機械化やロボット開発の現状を文献調査・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、果樹の省力・機械化技術の開発に少しでもお役に立てば幸いです。

平成 31 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 ワシントン州のりんご産業、省力・機械化技術.....	5
1. 米国のりんご生産・流通・消費.....	5
2. ワシントン州の果樹生産.....	8
3. ワシントン州果樹産地の環境条件.....	10
4. ワシントン州のりんご生産・流通.....	12
5. ワシントン州の有機りんご生産.....	16
6. ワシントン州のりんご生産者.....	20
7. 流通・選果・貯蔵.....	23
8. 労働力問題.....	30
9. りんごの樹形.....	33
10. りんご生産の機械化全般.....	35
11. 高所作業台車による効率化とコスト評価.....	40
12. 機械収穫、ロボット収穫.....	42
13. 精密農業と栽培支援.....	47
14. ワシントン州立大学の果樹研究・普及、州のりんご関連団体.....	52
II ワシントン州におけるりんご産業・自動化研究等の現地実態調査.....	56
1. 日程.....	56
2. 果樹協会年次大会・北西部園芸展.....	56
(1) 果樹協会年次大会.....	56
(2) 北西部園芸展.....	60
3. ワシントン州立大学精密・自動化農業システムセンター.....	63
4. アランブラザーズ.....	67
5. その他.....	71
6. 感想.....	73
III まとめ.....	74
1. ワシントン州と日本のりんご栽培の比較.....	74
2. ワシントン州のりんご省力・機械化生産技術の日本での適用可能性.....	75

調査の概要

1. 調査の目的

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、生産が行われている。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る。

これらの対応策の検討のためには、国内外の果樹農業、生産技術の動向・背景を的確に捉えることが重要であり、平成29年度には「省力樹形等新たな果樹生産技術調査」を実施した。海外では、りんごについて、省力樹形・機械化、収穫ロボット開発等が積極的に進められているが、関連情報の収集は不十分である。

以上のことから、米国のりんご産業について、生産動向と労働力不足の現状、果樹園の省力・機械化技術、収穫ロボットの開発状況等を調査し、国内の関連技術の開発、普及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（敬称略）

座 長	岩波 宏	農研機構果樹茶業研究部門リンゴ研究領域 リンゴ栽培生理ユニット長
委 員	草場 新之助	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
	大西 正洋	農研機構農業技術革新工学研究センター 戦略統括監付戦略推進室主任研究員
	玉井 浩	長野県果樹試験場 栽培部長

(2) 検討委員会の開催

第1回検討委員会 平成30年7月11日（水） 三会堂ビル2階 B会議室

第2回検討委員会 平成30年1月31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

平成30年4月～平成31年3月

(2) 果樹生産技術に関する調査

りんごを対象に、米国の主要産地における生産技術及び開発中の新技術について文献調査に加え、現地調査で取得した情報・内容を加え整理した。

調査対象は、米国ワシントン州であり、りんご産業全体の動向、関連組織、研究・普及の現状・動向把握を通じて、果樹産業や果樹園の自動化がどのように進むのか明らかにしようとした。

参考にした文献は、米国農務省（USDA）統計資料、州農務省資料、州立大学の果樹研究・普及資料、関連論文・書籍・普及誌、州の果樹関係団体資料等である。現地調査での内容（特に選果、機械）も含めて整理した。

資料の取りまとめは、主として中央果実協会（朝倉審議役）が行い、検討委員と相談しながら最終取りまとめを行った。

主な調査内容は以下のとおりである。大部分はワシントン州のりんごに係わる内容であるが、一部米国についての情報、りんご以外の情報も含まれる。

- 1) りんご産業の概要
- 2) りんご産地の環境条件（気象条件、水資源）
- 3) りんご生産・流通の概要
- 4) りんご生産者の特徴
- 5) 有機りんご
- 6) 流通・選果・貯蔵
- 7) 雇用労働の状況
- 8) 省力樹形
- 9) りんご生産の機械化
- 10) ロボット収穫
- 11) 精密農業
- 12) 州立大学の研究・普及組織

（3）果樹生産新技術に関する現地調査

現地調査対象は、ワシントン州ヤキマで開催されるワシントン州果樹協会年次大会・北西部園芸展、りんごの収穫ロボット・精密農業研究で有名なワシントン州立大学精密・自動化農業システムセンター、大規模りんご生産者・パッカーであるアランブラザーズ等である。

担当調査委員は、岩波委員、大西委員であり、朝倉審議役が同行した。草場委員は、農研機構のプロジェクト予算で上記対象を調査した。取りまとめは、主として中央果実協会（朝倉審議役）が行い、検討委員と相談しながら最終取りまとめを行った。

主な調査内容は以下のとおりである。

- 1) りんごの収穫ロボット、果樹園の機械化、精密農業等の研究・開発の動向
- 2) 省力樹形、選果システム、栽培管理・品種の動向
- 3) 今後の果樹生産の目指す方向
- 4) 研究・普及と生産者の関係

（4）まとめ

日米りんご栽培における相違点と類似点、ワシントン州のりんご栽培技術で我が国のりんご栽培の参考になる部分について座長がとりまとめた。

○ 調査結果の要旨

1. 米国のりんご生産量は、中国に次いで第2位であり、主要生産州はワシントン州である。りんごはワシントン州の農業生産額第1位を占める最重要農産物であり、主産地は、ヤキマバレー、コロンビア川流域、ウェナッチェである。これらの地域は、日射量が多く、生育期の降水量が少なく、りんご栽培に適する気象条件である。水源は、山岳地帯からの融雪水に依存している。
2. ワシントン州のりんご生産量は増加傾向にあり、高密植栽培導入による単収増が関係している。栽培面積は2000年以降大きな変化は認められないが、レッドデリシャスが減少し、ガラ、ハニークリスプ等が増加している。高品質かつ特徴的な差別商品としてクラブ制品種の導入も盛んである。
3. ワシントン州は、気象的に適地であり病虫害も東海岸地域に比べ少ないことから、有機栽培に取り組みやすい。有機りんごは、高値販売できることから、生産量も増加傾向である。
4. ワシントン州のりんご生産者は、5～100 acre（1 acre は約0.4 ha）の中小生産者の数が減少し、1,000 acre 以上の生産者が増加している。また、生産者の高齢化が進んでいる。
5. ワシントン州のりんご流通は、大部分がパッカーを通じて行われる。大規模パッカーは共同でマーケティングセールスデスクを設置し、小売りと直接取引する。大型小売は、限られた品種の決まったサイズの果実を年間通して並べる傾向にあることから、生産者・パッカーもそれに対応するため大規模化が進む傾向にある。
6. パッカーは、注文に応じて短時間に大量で多様な品種を選果する必要があり、選果ラインは大規模化・自動化・高速化が進んでいる。貯蔵は、大部分がCA方式であるが、さらに進んだ方式として酸素濃度を限界まで下げるDCA（ダイナミックCA）方式が増加傾向にある。
7. ワシントン州で雇用労働を最も必要とするのは果樹であり、その中でもりんごの収穫作業（9、10月）が最も労力を必要とする。雇用労働はメキシコからの移民労働者に依存してきたが、メキシコの経済発展、教育の向上により移民の数が減少し、労働者の確保が困難になってきている。H-2Aビザ雇用者は増加傾向であるが、経費負担が大きく生産コストの上昇をもたらしている。
8. ワシントン州の主なりんご樹形は、Vトレリス、バーティカルトレリスである。高所作業台車、収穫ロボット等の導入で作業効率化を進めるには、樹形も平面的（SNAP 樹形）にする必要がある。
9. 機械は、一部で高所作業台車、試験的に摘花・せん定機械が導入されている。高所作業台車は作業が効率化され、労働者の安全にもつながるが、利用している割合は比較的少ない。その理由として、樹形・果樹園方式が不適合、機械が高額、傾斜地果樹園等の理由があげられている。
10. 州立大学精密・自動化農業システムセンターでは、りんご収穫ロボット、振動収穫機の開発が進められている。民間では、イスラエルとアメリカの2社がりんご収穫ロボットの商品化を目指している。
11. 専門家に対するアンケート調査によると、ロボット収穫機の商品化時期については、早くて2019年であり、数年以内に市販化され、本格的に国内生産者に普及するには5年程度かかるという意見が多い。ロボット収穫機の普及上の障害については、ロボット収穫に適する樹形の普及遅れ、機械の故障対応である。果樹園の機械化については、20年後には収穫、せん定等ほとんどの作業が自動化され、作業員は機械の作業動作をモニターすることになると予想されている。
12. 精密農業では、AgWeatherNet システム（気象データとモデルを組み合わせた栽培支援）が普及し、病虫害管理、摘花・摘果、灌水判断等に利用されている。
13. ワシントン州のりんご産業では、生産者・パッカー、研究・普及、関係団体等が密接な連携のもとに活動している。果樹寄付諮問委員会や果樹研究委員会が有効に機能し、世界的な研究・普及人材

の確保が行われるとともに現場の問題が研究課題化され、研究成果も速やかに普及に移されている。

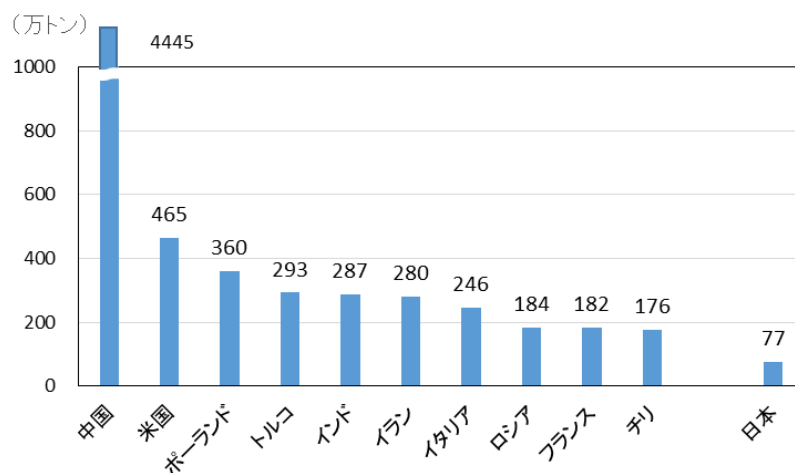
14. ワシントン州果樹協会は、りんご、西洋なし、おうとうの生産、選果・貯蔵、流通関係の組織・個人等を会員とする組織であり、最重要行事として、12月に果樹協会年次大会を開催する。果樹協会年次大会は、生産者、研究者・普及担当者、パッカー、州団体、民間等から2,000人規模の参加者があり、品種、栽培、病虫害管理等について議論される。特徴として、スペイン語セッションがあることである。
15. 果樹協会年次大会・北西部園芸展ではロボット収穫機の発表・展示はなく、現状で実用化に近い最先端の収穫機は手収穫した果実を自動吸引しビンに収納する装置を積載した高所作業台車である。
16. 州立大学精密・自動化農業システムセンターでは、自動収穫ロボット、センシング、ドローン等果樹の各種自動化研究が行われ、非常にアクティブである。
17. 大規模生産者・パッカーは、研究・普及・企業と連携し、先進的で新技術・装置を積極的に導入している。
18. ワシントン州では大規模生産者が多く、生産者、研究・普及、企業が密接に連携しアクティブであることから、雇用労働力不足の問題を自動化・精密農業で解決し、世界で最初に自動化りんご園を実現するのはワシントン州になるのではないかとと思われる。
19. 気象、経営規模、樹形、生産性・コストから見た日米の相違点について整理するとともに、ワシントン州におけるせん定、着果管理、収穫・選果、精密農業と栽培支援等について、技術導入の可能性について議論した。

I ワシントン州のりんご産業、省力・機械化技術

1. 米国のりんご生産・流通・消費

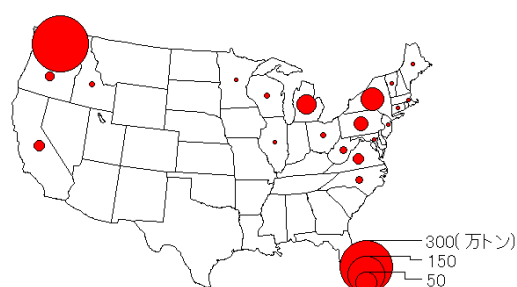
世界のりんご生産量は8,932万トンであり、そのうちの半分近く4,445万トンは中国である（FAO 統計2016年）。米国は465万トンで第2位であり、次いでポーランド、トルコ、インド、イラン、イタリアと続き、日本は77万トンである（図1）。

米国におけるりんごの主要生産州は、西海岸北部のワシントン州341万トン、北東部のニューヨーク州59万トン、ミシガン州38万トン、ペンシルバニア州24万トンである（図2）。



出所: FAO統計2016¹⁾より作成

図1 世界の主要りんご生産国

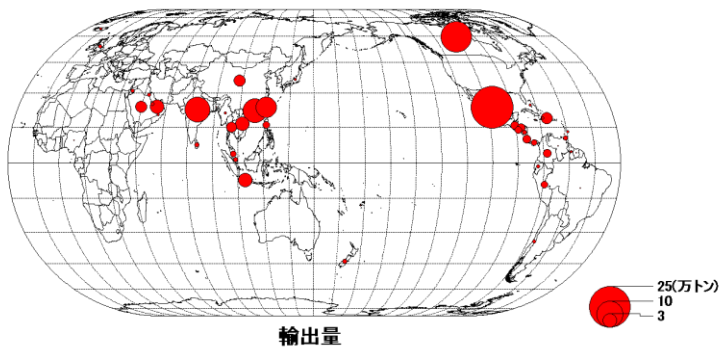


出所: USDA 統計2017²⁾より作成

図2 米国におけるりんごの州別生産量

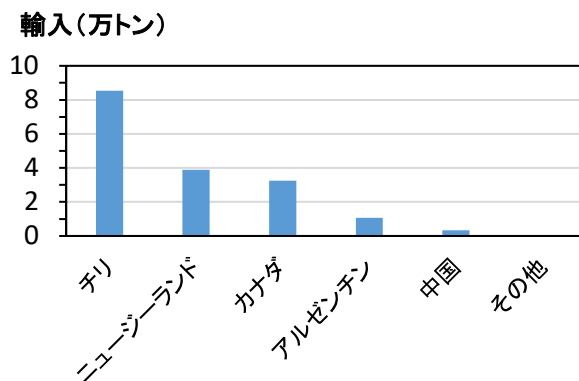
米国産りんご（生果）の輸出先は、メキシコ26.8万トン、カナダ13.8万トン等の北米地域、インド9.4万トン、香港8.4万トン、台湾6.5万トン等のアジア地域である（図3）。ワシントン州は、地理的に見ると国内大都市からは遠く他の国内産地に比べ輸送コストがかかる。一方、輸出については、北米、アジアへの輸送面では有利である。日本への輸出量は、889トンである。

りんご（生果）の輸入は、チリ8.5万トン、ニュージーランド3.7万トン等の南半球とカナダ3.3万トンが多い（図4）。



出所：USDA 統計 2017³⁾ より作成

図 3 米国産りんごの輸出先国



出所：USDA 統計 2016/2017³⁾ より作成

図 4 米国におけるりんごの輸入国

米国産りんごの生鮮、加工への仕向け量の推移は、図 5 のように生鮮（生果）の割合が徐々に増加傾向である。2012-2016 年の平均で見ると、生鮮の割合は 68.4%、加工割合は 29.3%である。2016 年の生果について見ると、生産量 343 万トン、輸入量 17 万トン、輸出量 87 万トンであり、国内供給量は 273 万トンである（表 1）。加工用途については、缶詰・ソース、ジュースの割合が多く、その他、乾燥果実、冷凍果実、カット果実にも利用されている。

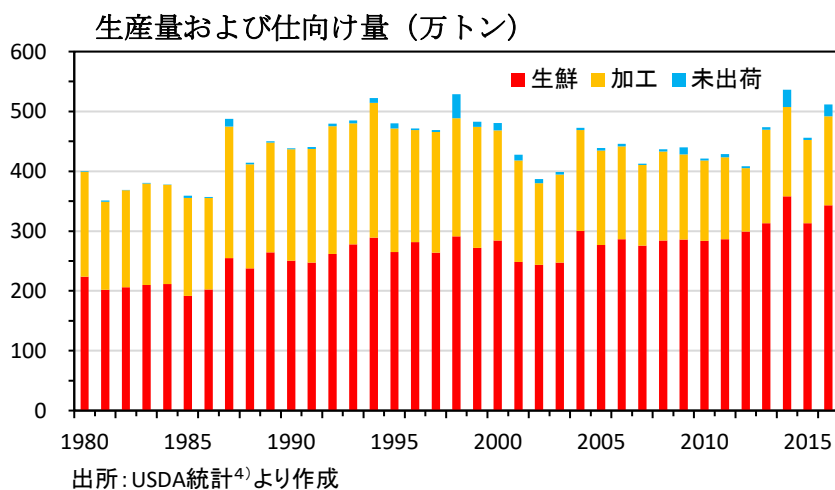


図 5 米国産りんごの生鮮、加工仕向け量

表 1 米国のりんご生果、加工供給量

用途\年		2012	2013	2014	2015	2016
生果 ¹⁾	生産量 ³⁾	299.4	313.0	357.9	313.1	343.0
	輸入量	19.5	21.3	16.4	18.8	17.1
	輸出量	89.4	84.4	103.8	77.9	86.9
	国内供給量	229.5	250.0	270.4	254.0	273.2
加工 ²⁾	缶詰、ソース	34.0	57.4	51.5	50.4	54.2
	ジュース	50.5	69.0	67.2	60.3	60.7
	冷凍果実	3.0	10.9	11.4	8.5	6.2
	乾燥果実	10.1	7.3	7.8	8.1	15.4
	カット果実	5.8	8.6	8.2	8.5	6.1
	酢、ワイン、他	2.4	3.3	2.7	na	na
	計	105.8	156.4	148.8	135.8	142.6

1): 年のスタートは8月

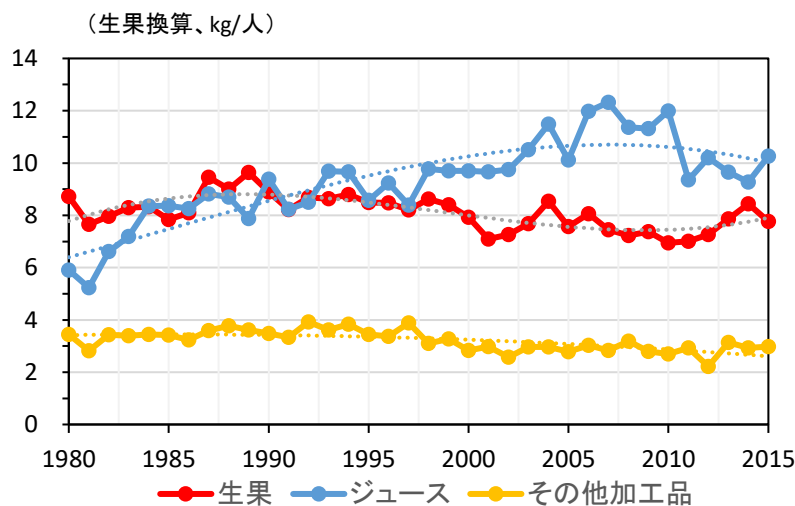
2): 加工の数値は生果重量換算

3): 未出荷量除く

na: 不明

出所: USDA統計⁴⁾より作成

米国における1人当たりの年間りんご消費量（生果換算）の推移を見ると、生果はやや減少傾向、ジュースは2010年までは増加傾向であったが、その後やや停滞し、その他加工品はわずかながら減少傾向である（図6）。2015年の消費量は、生果7.8kg、ジュース10.3kg、その他加工品は3.0kgである。



出所: USDA統計⁴⁾より作成

図 6 米国におけるりんご生果、ジュース、その他加工品の消費量

引用・参考文献

1. FAO. FAOSTAT.
2. USDA, National Agricultural Statistics Service, Quick Stats.
3. USDA, Economic Research Service. Data by Commodity - Imports and Exports, Apples.
4. USDA, Economic Research Service. Fruit and Tree Nut Yearbook 2017.

2. ワシントン州の果樹生産

ワシントン州の農業生産額は105.6億ドルであり、主要な農産物は順に、りんご24.3億ドル、牛乳11.9億ドル、小麦6.9億ドル、ジャガイモ6.9億ドル、肉用牛6.6億ドル、飼料作物5.2億ドル、ホップ4.9億ドル、おとう4.8億ドル、ぶどう3.2億ドル、西洋なし2.5億ドルである（図7）。ワシントン州は生産量で見ると、りんご、甘果おとう、西洋なし、ブルーベリーは全米1位、ぶどう、ネクタリン、アンズはカリフォルニア州に次いで全米2位である。このように、りんごはワシントン州にとって、最重要農産物である。

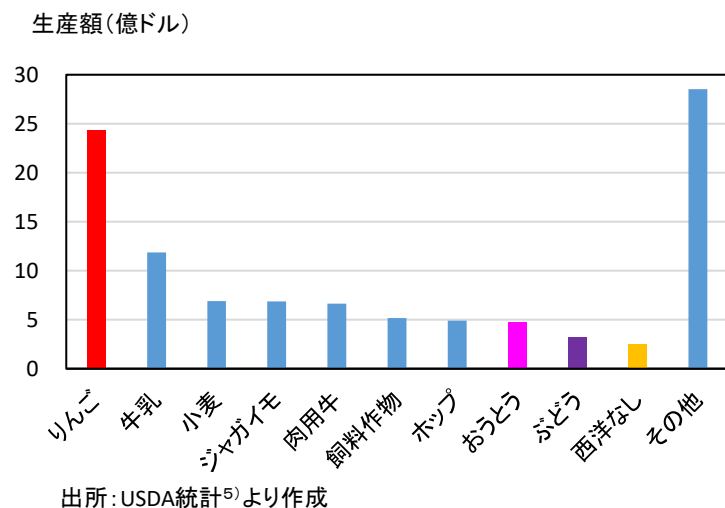


図7 ワシントン州の主要農産物の生産額

ワシントン州内のりんご産地は、ヤキマバレー地域、コロンビア川流域地域、ウェナッチェ地域である（図8）。その中でも、ヤキマ郡、グラント郡、オカノガン郡、ベントン郡が主な産地である。ワシントン州のりんご栽培面積は、72,500haで、日本の結果樹面積36,800haの約2倍である。ヤキマ郡の栽培面積20,919haは青森県の栽培面積19,900haと、オカノガン郡の栽培面積は7,363haは長野県の結果樹面積7,560haとほぼ同じである。

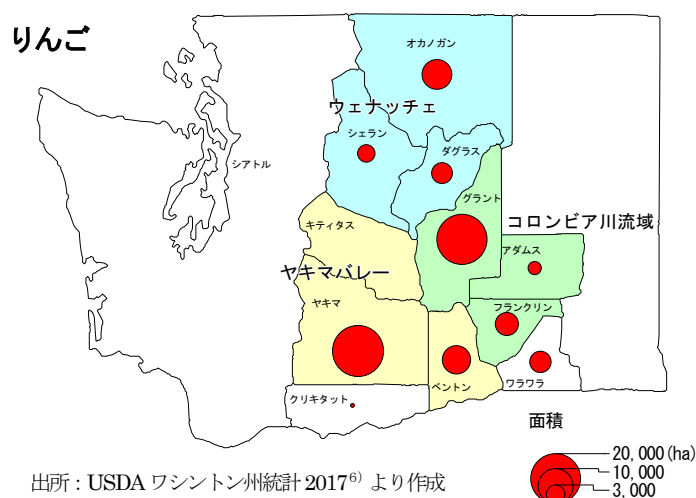
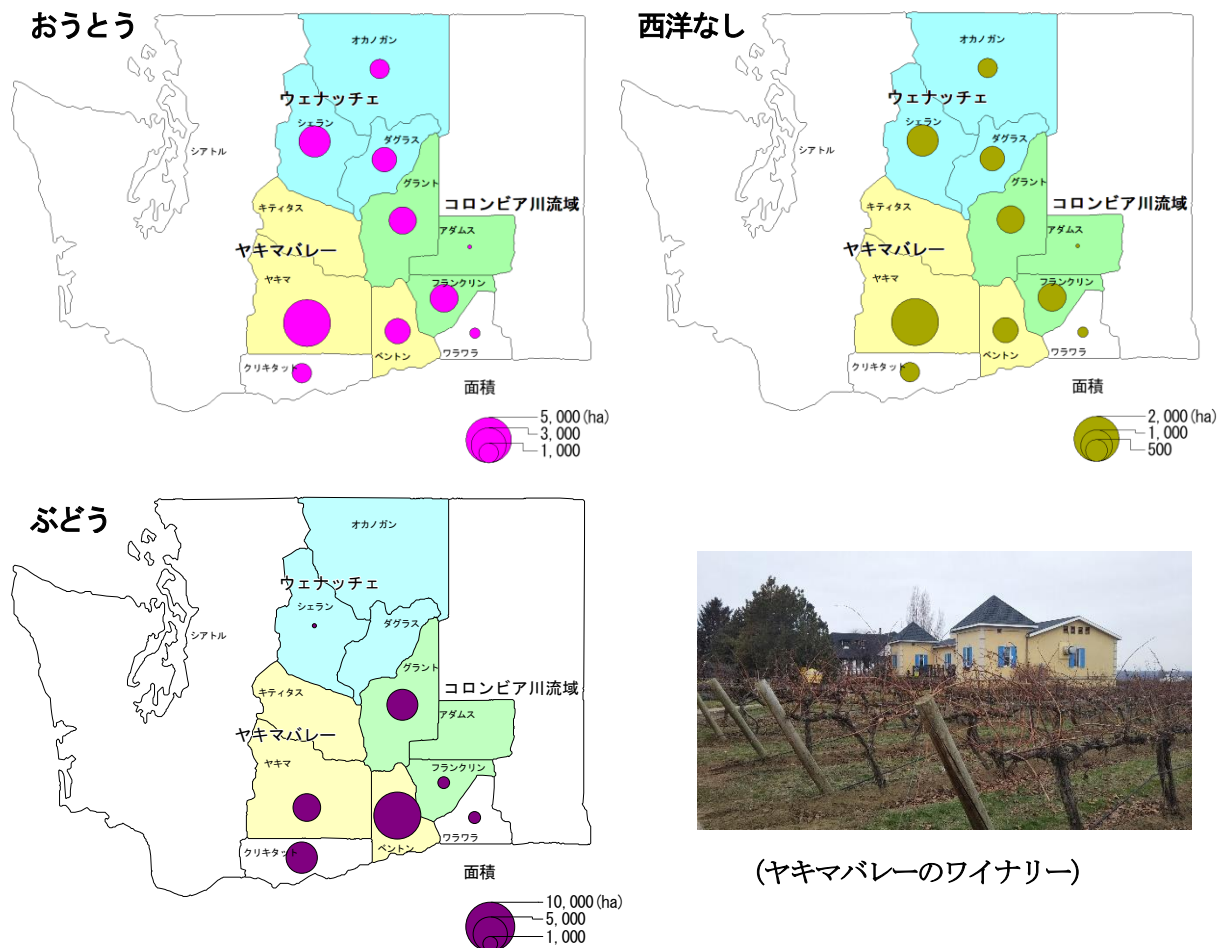


図8 ワシントン州の地域別、郡別のりんご栽培面積

その他果樹では、ぶどう 31,193 ha（ワイン用 22,439、ジュース用 8,754）、おうとう 17,078 ha、西洋なし 8,485 ha、もも 881 ha、アンズ 521 ha、ネクタリン 482 ha、スモモ・プルーン 100 ha 等がある（図9）。



（ヤキマバレーのワイナリー）

出所：USDA ワシントン州統計 2017^{6, 7)} より作

図9 ワシントン州の地域別、郡別のおうとう、西洋なし、ぶどう（加工用）栽培面積

引用・参考文献

5. USDA. Press Release. Value of Washington's 2017 Agricultural Production.
6. USDA. Washington Tree Fruit Acreage Report, 2017.
7. USDA. Washington Vineyard Acreage Report, 2017.

3. ワシントン州果樹産地の環境条件

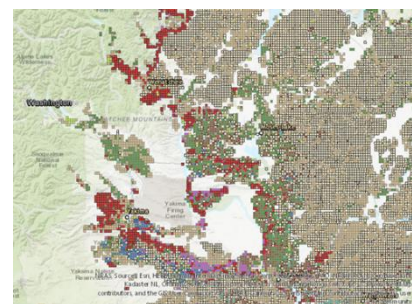
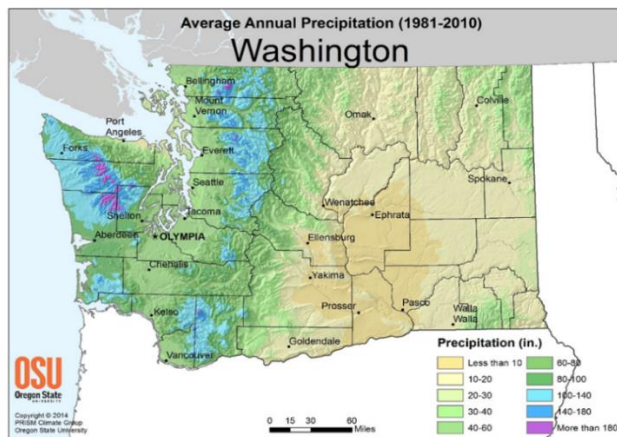
米国では、ある作物を導入する場合の指標として、植物の耐凍性（年最低気温の平均）が利用されている。温度から見たりんごの適地は6、7地帯（zone）とされ、ワシントン州の中部から東部（北部を除く）が当てはまる（図10）。



出所：USDA Plant Hardiness Zone Map 2012⁸⁾

図10 ワシントン州の植物耐凍性区分図

この地帯は、降水量の少ない地域であり、年間降水量は250 mm 未満である（図11 左）。そのため、りんご産地は、川沿いに集中している（図11 右）。ワシントン州農業の水源地は、85%が川等の表面水に依存し、これら水量はカスケード山脈と呼ばれる山岳地帯の積雪量に関係する。この雪解け水を有効に使うために20世紀前半に、ダム、貯水池、水路が整備され、農業が大きく発展した。



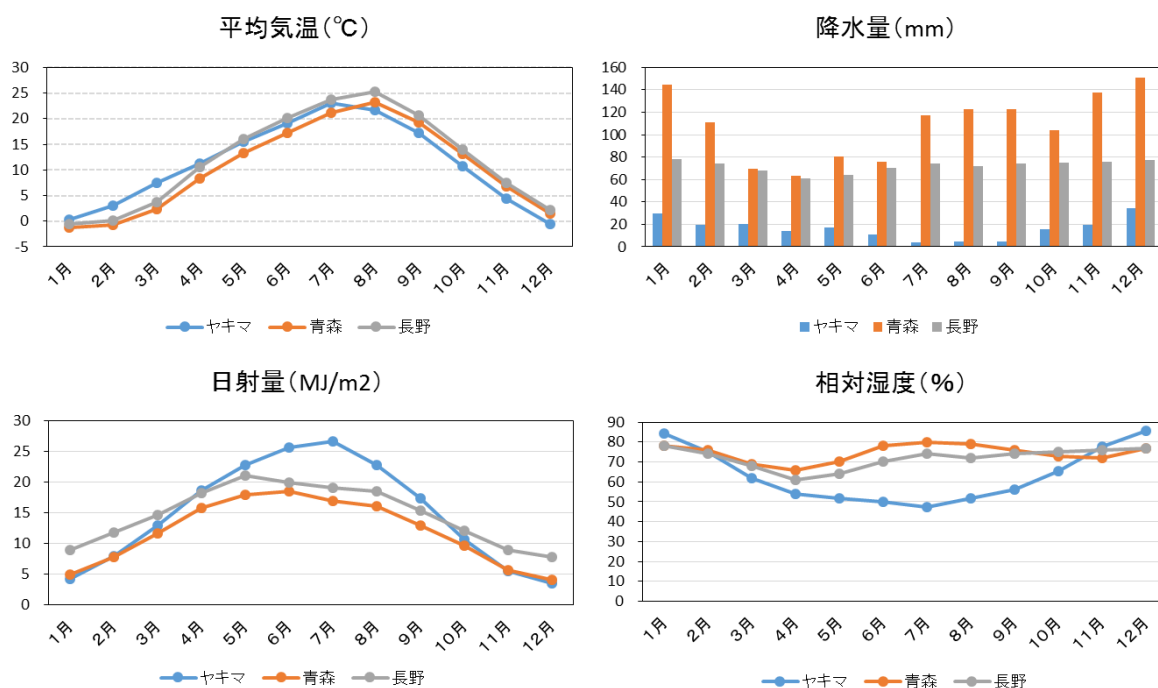
出所：ワシントン州、Agricultural Land Use Web Map¹⁰⁾ より作成

出所：PRISM Climate Group, Average annual precipitation, Washington State⁹⁾

図11 ワシントン州の年間降水量分布図、りんご栽培地域

りんごの最大産地であるヤキマと青森、長野の気象環境を比較したのが、図 12 である。最も大きな特徴は、ヤキマでは青森、長野に比べ、1) 年間を通して降水量が少なく、夏季は極端に少ない、2) 6月から9月の生育期の日射量が多い、3) 3月から10月の相対湿度が低い、ことである。

ワシントン州は、十分な水が確保できれば、果樹栽培には適地であり、雨が少なく湿度も低いことから病虫害の発生が比較的少なく、有機栽培にも好適な環境である。日射が強いことは、光合成に有利であるが日焼け果の発生が問題になっている。日焼け防止に、遮光資材や日焼け防止剤が一部で利用されている。



出所: AgMetのヤキマ郡ハラーのデータ(1998-2017)¹¹⁾、気象庁の青森市、長野市の平年値データ(1981-2010)¹²⁾より作成

図 12 ワシントン州ヤキマ、青森、長野の平均気温、降水量、日射量、相対湿度

ワシントン州の積雪は1995年から2016年の間、15~30%減少している¹³⁾。これは温暖化により、冬季の気温が高くなり、積雪としてではなく降水として降ることが要因である。冬季の積雪が少ないと、必要とする灌水量を確保できず干ばつが発生することがある。2015年の干ばつでは、りんごで8,650万ドルの被害が発生した。この干ばつは snowpack drought と呼ばれ、冬季の降水量は平年並みであるが気温は記録的に高く(ワシントン州の10月から3月の気温が平年比2.6°C高い)雨として降る量が多くなり、カスケード山脈の積雪が少なかったためである¹⁴⁾。

水を有効利用するための研究拠点として、ワシントン州立大学に灌漑農業研究・普及センターがあり、果樹についても灌水管理の研究が行われている。また、農家向けに蒸発散量や必要灌水量等の灌水情報が提供されている。

引用・参考文献

8. USDA Plant Hardiness Zone Map, 2012. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture. <http://planthardiness.ars.usda.gov>.
9. Average annual precipitation, Washington State. PRISM Climate Group, Oregon State University. http://www.prism.oregonstate.edu/projects/gallery_view.php?state=WA

10. Washington State Department of Agriculture, Agricultural Land Use Web Map.
<https://nras.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=3d61db30686d467ea6f5e0197be32b25>
11. AgriMet, Bureau of Reclamation, Pacific Northwest Region. <https://www.usbr.gov/pn/agrimet/>
12. 気象庁. 観測値データ、平年値.
13. Mote, P. W. et.al. (2018). Dramatic declines in snowpack in the western US. *npj Climate and Atmospheric Science*, 1(1), 2.
14. 2015 Drought response, summary report. Water resources program, Washington State Department of Ecology.

4. ワシントン州のりんご生産・流通

米国とワシントン州におけるりんごの栽培面積と生産量の推移を図 13 に示した。米国とワシントン州の差は、ワシントン州を除く産地に相当する。ワシントン州の栽培面積は、1998 年頃までは増加傾向であり、その後は停滞傾向である。米国全体の栽培面積は、1998 年頃まで停滞傾向であり、その後、徐々に減少している。このことは、他の産地の栽培面積は減少傾向にあることを示している。

ワシントン州の生産量は、2000 年から 2010 年頃は増加傾向が緩やかであるが、2000 年までは順調に増加し、2010 年以降も増加している。他の産地の生産量は 2000 年までは、ほぼ一定であり、その後は面積の減少もあり少なくなっている。

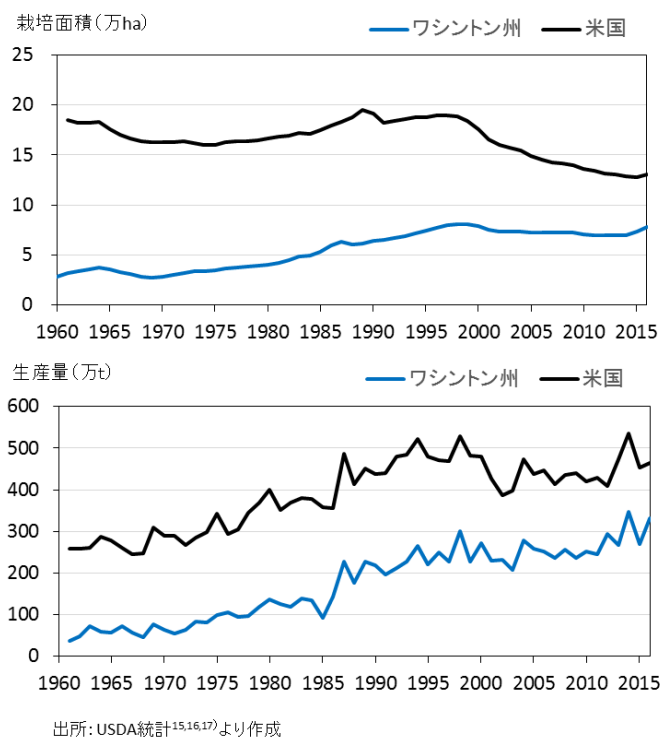


図 13 米国、ワシントン州のりんご栽培面積、生産量

(米国：結果樹面積、ワシントン州：栽培面積)

ワシントン州の単位面積当たりの収量は、1980 年頃まで増加傾向にありその後 2003 年頃まで停滞し、それ以降は増加している (図 14)。最近の増加傾向は、後で述べる栽植密度の高いわい性台木樹の増加が関係していると考えられる。

出荷価格は、全体的に右肩上がり、特に近年は急増している (図 15)。日本では、卸売市場での価

格には大きな変化はない（図 16）。

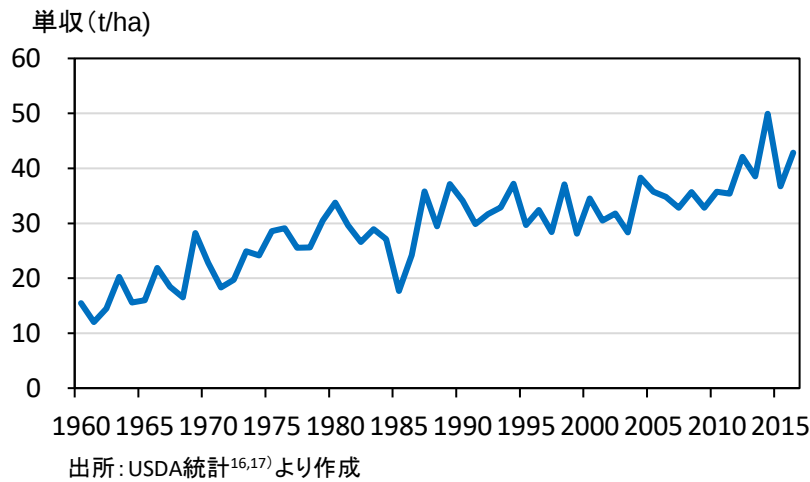


図 14 ワシントン州のりんご単収

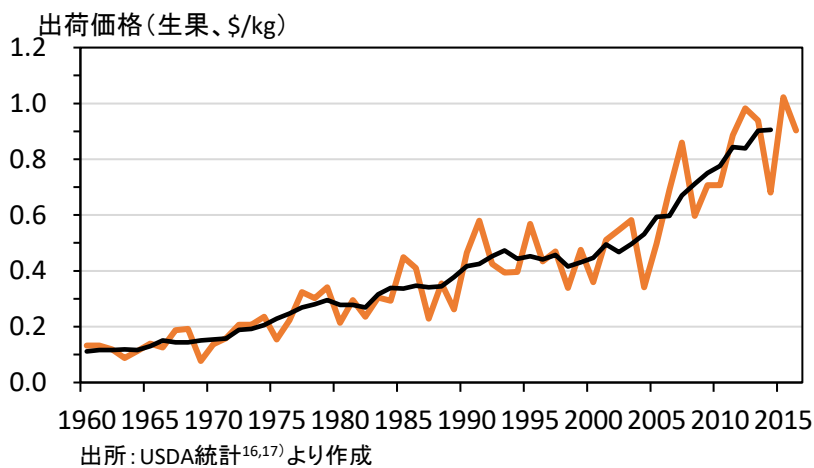
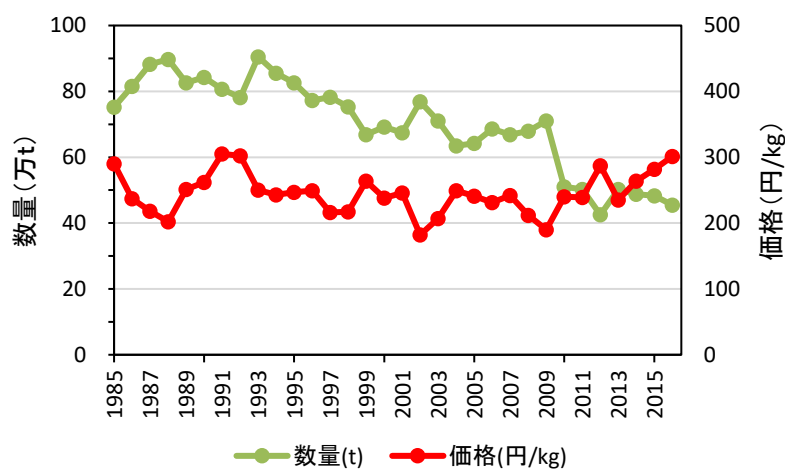


図 15 ワシントン州のりんご出荷価格



出所: 農水省青果物卸売市場調査報告¹⁸⁾より作成

図 16 日本のりんご流通量と価格

ワシントン州におけるりんご栽培品種の変遷を見ると（図 17）、全体の栽培面積には大きな変化はみられないが、品種構成が大きく変化していることがわかる。すなわち、圧倒的な地位を占めていたデリシャス系品種（レッドデリシャス、ゴールドデリシャス）の減少である。ガラ、ふじ（着色系含む）については増加傾向にあるが、実際に増えているのはガラ、ふじの着色系統であり、従来のガラ、ふじは減少している。また、ハニークリスピー、クリップスピンク（ピンクレーディ）等のクリスピー感のある品種が増えている。

品種構成の大きな変化は、消費者が求める着色がよくクリスピー感のある品種に対する要望が強いことが影響している。すみやかな品種構成の変化に対応するために、15～20%の園地は植栽しないで維持しておくことが推奨されている。

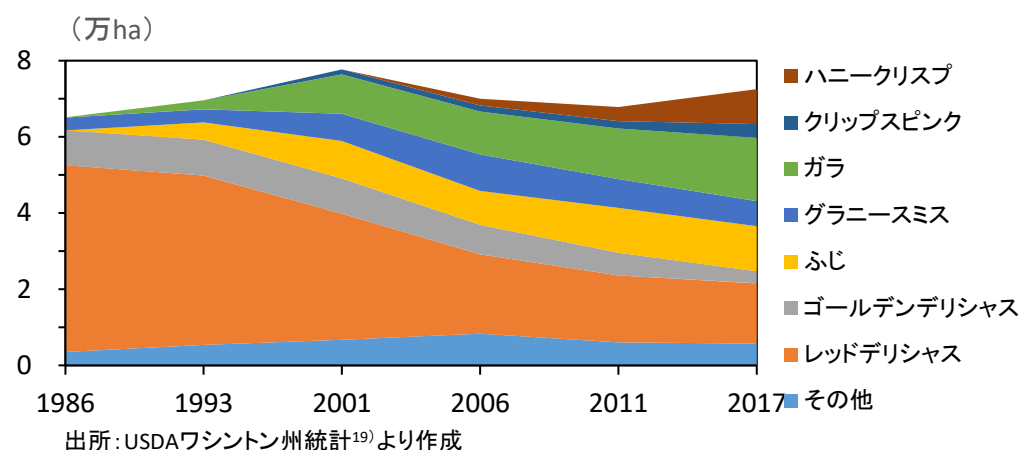
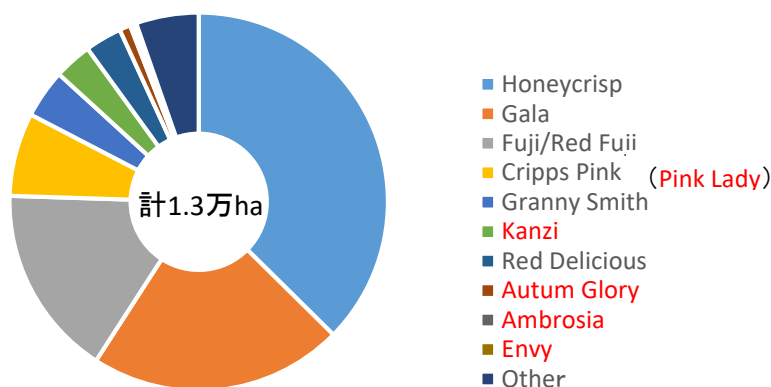


図 17 ワシントン州のりんご品種別栽培面積

最近の品種別新植割合（2012年～2016年）を見たのが、図 18 である。ハニークリスピーが最も多く、ついでガラ、ふじ、クリップスピンクの順である。ふじは、2006年から2011年にかけては1番多かったが、その後新植は減少傾向である。赤字で示した品種は、クラブ制品種（Club Apple）である。クラブ制品種は、商標保有者によりコントロールされている品種で、限られた地域の限られた生産者によって限られた量が生産される。高品質かつ特徴的な差別商品で、生産量が限られるので値崩れしにくい。大規模生産者・パッカーは世界中から、新しい品種の導入を進めている。



出所：USDAワシントン州統計¹⁹⁾より作成

図 18 ワシントン州のりんご品種別新植割合（2012～2016年）

栽植密度の推移を見ると、全体的に増加傾向であり、2010 年では 10a 当たり、ふじ 242 本、ガラ 261 本、ハニークリスプ 200 本、レッドデリシャス 148 本である（図 19）。栽植密度の変化には、わい性台樹、半わい性台樹、普通樹の比率が関係している（図 20）。ふじ、ガラ、ハニークリスプは、レッドデリシャスに比べて、わい性台樹、半わい性台樹の割合が多い。

現在、ワシントン州で注目を集めている新品種は WA-38（商品名、コズミッククリスプ）である。この品種は、ワシントン州立大学で育成されたクリスプ良食味で貯蔵性に優れる赤色品種で、州内でのみ栽培が可能となっている。

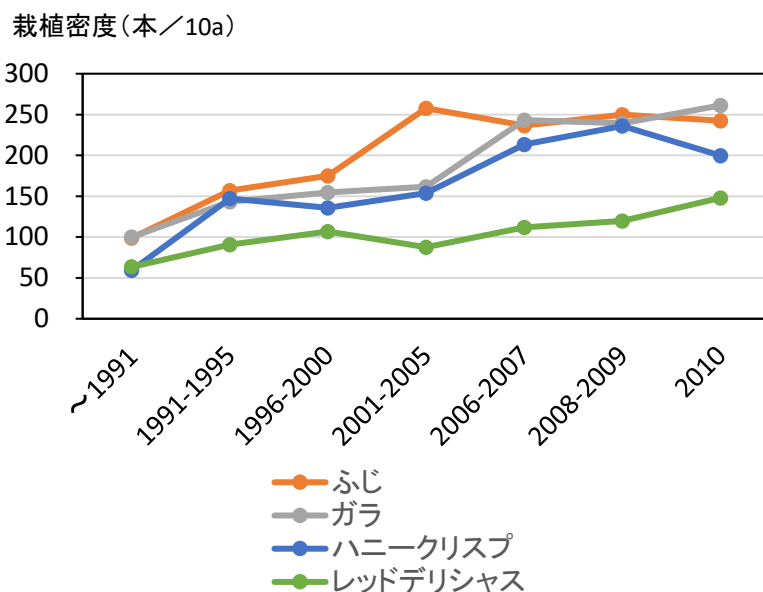


図 19 ワシントン州のりんご 4 品種の栽植密度の変化

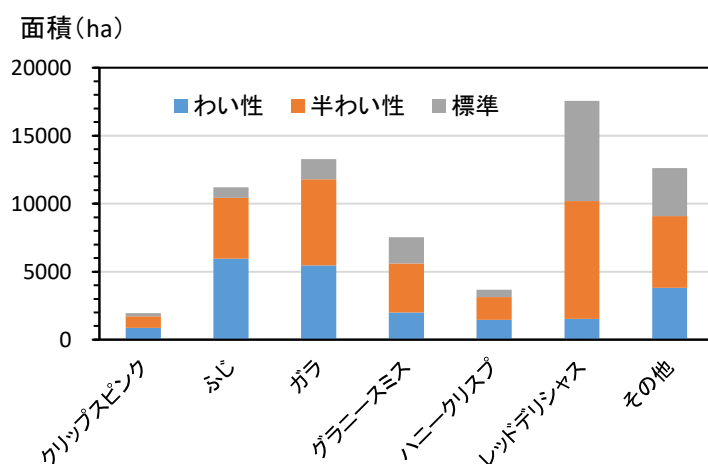


図 20 ワシントン州のりんご品種別・台木種類別栽培面積

引用・参考文献

15. FAO. FAOSTAT.
16. USDA. Historic data, Fruit. USDA's National Agricultural Statistics Service Washington Field Office.
17. USDA, National Agricultural Statistics Service. Quick Stats.
18. 農林水産省. 青果物卸売市場調査報告、累年統計.
19. USDA. Washington Tree Fruit Acreage Report, 2017.
20. USDA. Washington Tree Fruit Acreage Report, 2012.

5. ワシントン州の有機りんご生産

日米の有機農産物の基準は、生産面では同様である（表2）。米国のOrganic101では、食品流通加工業者としての基準があり、選果場での取り扱いに関係する。

表2 日米の有機農産物認定の基準

日本（有機農産物の日本農林規格）	米国（USDA Organic101）
有機農産物の生産の原則 農業の自然循環機能の維持増進を図るため、化学的に合成された肥料及び農薬の使用を避けることを基本として、土壌の性質に由来する農地の生産力を発揮させるとともに、農業生産に由来する環境への負荷をできる限り低減した栽培管理方法を採用したほ場において生産されること。	有機生産者（Producer） 資源循環、生態系バランスの促進、生物多様性の保全 合成肥料・農薬の制限、下水汚泥・放射線・遺伝子組換え不使用 耕種的対応（予防手段、物理的対応）を優先し（認可農薬を使用する前に）自然の資材を用いた土壌改良 少なくとも3年、禁止物質を使用していない
有機農産物の生産方法の基準（ポイント） ・堆肥等で土作りを行い、播種・植付け前の2年以上（多年生作物の場合は収穫前3年以上）、化学合成肥料及び農薬の不使用を基本として栽培 ・種子や苗は、原則、有機のものを使用 ・組換えDNA技術の利用や放射線照射を行わない ・一般製品との混合、薬品等からの汚染がないよう管理	食品流通加工業者（Handler） 調理、加工、冷蔵、パッキング等での非有機物質のコンタミ、非有機製品の混入防止
日本が有機同等性を承認した国（平成31年1月現在）EU（28か国）、豪州、米国、スイス、アルゼンチン、ニュージーランド、カナダ	

出所：農林水産省生産局²¹⁾、USDA Organic101^{22,23)}資料より作成

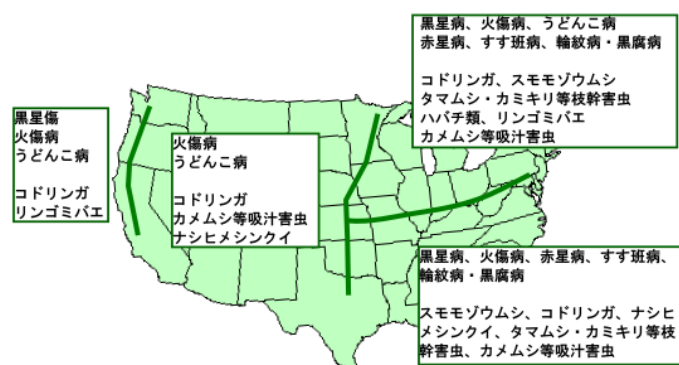
有機農産物市場は、世界的にも米国でも拡大している^{24,25)}。りんごは、ワシントン州の有機農産物の最重要品目であり2016年統計では売り上げが2億9,500万ドルに達している（2位、牛乳4,390万ドル）²⁶⁾。米国で有機りんご栽培が最も多い州は、ワシントン州であり、次いでカリフォルニア州であり、ニューヨーク州、オレゴン州のような東北部の州では少ない（表3）。これには、西部の地域では、重要な病虫害の発生が少ないことが関係している（図21）。

ワシントン州では、りんご、西洋なし、もも等を栽培する場合は、庭先果樹についても州法で適切な病虫害管理を求めている。これは、病虫害が発生した場合に国内消費、輸出についても、影響が大きいためである。

表 3 米国の州別有機りんご栽培面積、生産量

	面積 (ha)	生産量 (100万t)
全体	6085	236.7
ワシントン	4492	202.0
カリフォルニア	996	21.9
オレゴン	130	4.5
ミシガン	145	3.7
ニューヨーク	19	0.3

出所：USDA 2016 Certified Organic Survey²⁶⁾ より作成



出所：Apple Organic Production Guide²⁷⁾ より作成

図 21 米国における地方別の主要病害虫

ワシントン州のりんご栽培で使用される殺菌剤、殺虫剤、除草剤は表 4 のとおりである。GA_{4,7}、BA はさび果防止、果形改善に利用される³⁰⁾。具体的な剤や使用法については、2018 Crop Protection Guide for Tree Fruit in Washington³¹⁾ に詳しい。

表 4 ワシントン州のりんご栽培で使用される殺菌剤、殺虫剤、除草剤等

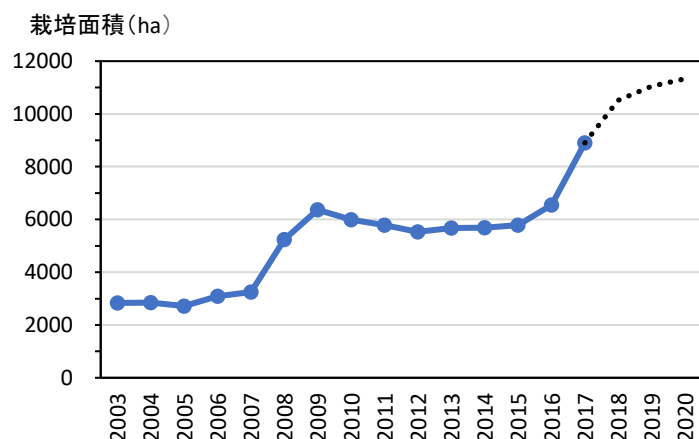
種類	利用面積 割合 (%)	代表例
殺菌剤	75	銅剤 (39%)、石灰硫黄合剤 (37%) トリフロキシストロビン (36%) トリフミゾール (32%)
殺虫剤	95	クロラントラニリプロール (59%) カルバリル (53%)、クロルピリホス (39%)、アセタミピリド (36%)
除草剤	28	グリフォサートイソプロピル塩 (16%) パラコート (13%) ピラフルエンエチル (8%)
その他	88	マシン油 (78%)、GA _{4,7} (33%) BA (29%)、エセフオン (28%)

Promalin (GA_{4,7}、BA)：さび果防止、果形改善

出所：Fruit Chemical Use Survey²⁹⁾ より作成

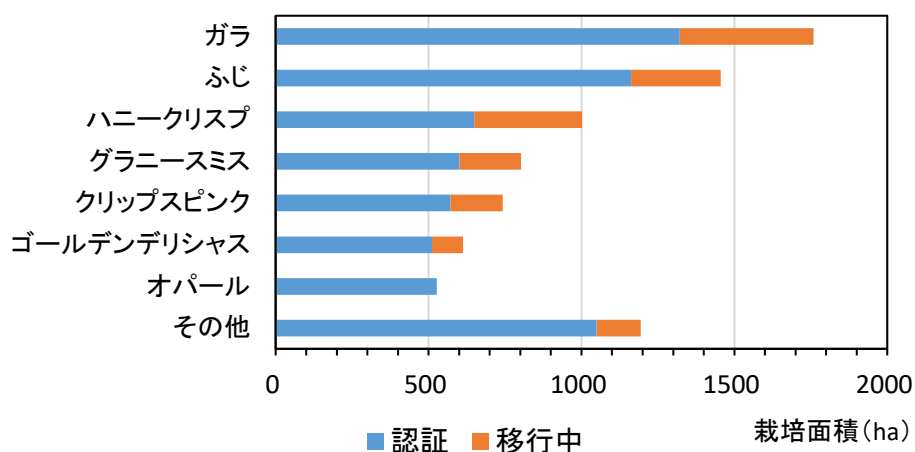
アメリカにおける有機食品販売額（2016 年）は、430 億ドルで全食品に占める割合は 5.3%であり、前年比 8.4%の増加である²⁵⁾。有機果物・野菜は、有機食品の 40%を占有し第 1 位である。有機食品については、ミレニアル世代（1980 年代から 2000 年代初頭生まれ）が最大の購買層であり、家族に有機食品を選ぶことがよい親の条件と信じており、農薬・ホルモン・抗生物質の健康影響を危惧し、加工度の高い食品や人工添加物を避ける傾向がある²⁵⁾。

ワシントン州の有機りんご栽培の面積は、停滞する時期もあるが、長期的には増加傾向にある（図 22）。品種では、ガラ、ふじ、ハニークリスプが多い（図 23）。



出所: Kirby & Granatstein (2012,2016,2018)^{32,33,34)}より作成

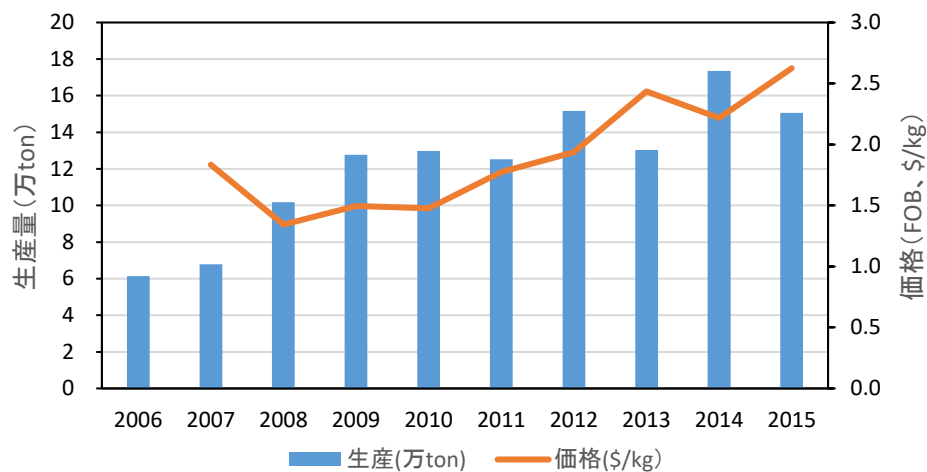
図 22 ワシントン州の有機りんご栽培面積



出所: USDAワシントン州統計³⁵⁾より作成

図 23 ワシントン州の品種別有機りんご栽培面積

ワシントン州の有機りんご生産量、価格は、増加傾向であり（図 24）、価格の上昇が有機栽培面積の増加をもたらしている。有機栽培りんごの価格は、ここ 5 年ほど有機でない通常りんごより 50～100% 高い³⁷⁾。

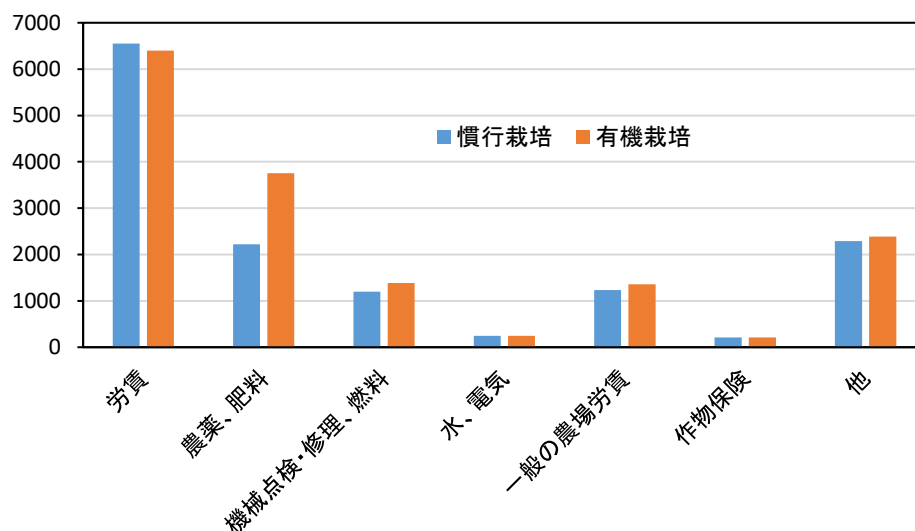


出所: Organic Apple Outlook 2015/2016³⁶⁾より作成

図 24 ワシントン州の有機りんご生産量と価格の推移

ワシントン州の有機栽培と慣行栽培のガラについて、経費を比較した報告では、有機栽培が農薬・肥料でわずかに高いことを除けば、大きな違いはない(図 25)。これは、生育期の雨が少なく、重要な病虫害が少ないことによる。そのため、ワシントン州では有機栽培に取り組みやすい状況にある。

経費(\$/ha)



出所: Taylor & Granastein (2013)³⁸⁾より作成

図 25 ワシントン州における有機栽培および慣行栽培りんごの生産経費の比較

引用・参考文献

21. 農林水産省、生産局. 有機農業関連情報.
22. USDA. Organic 101.
23. USDA. (2002). <https://www.ams.usda.gov/publications/content/organic-production-handling-standards>
24. Granatstein, D., & Kirby, E. (2016). Status of Organic Production of Temperate Fruits in the USA. In Ecofruit.

- 17th International Conference on Organic Fruit-Growing: Proceedings, 15-17 February 2016, Hohenheim, Germany (pp. 128-134). Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau eV (FÖKO).
25. Hauman, B. (2018). U.S. organic sales set new records. Willer, H. & Lernoud, J. (Eds) (2018). The world of organic agriculture, statistics and emerging trends 2018 (pp. 284-288). Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, and IFOAM-Organic International, Bonn.
 26. USDA. Certified Organic Survey 2016 Summary.
 27. Hinman, T., & Ames, G. (2011). Apples: organic production guide. Publ. The National Sustainable Agriculture Information Service (ATTRA) Report IP020: 40pp.
 28. Why growing fruit trees in the backyard many not be for everyone.
<https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/2082/2017/08/Whygrowingfruittreesinbackyardnotforeveryone11.pdf>
 29. Press Release, 2015 Fruit Chemical Use Survey Results and Available. USDA, National Agricultural Statistics Service, Northwest Regional Field Office.
 30. Musacchi, S. & Green, D. (2017). Innovations in apple tree cultivation to manage crop load and ripening. In: Evans, K. (ed.) Achieving sustainable cultivation of apples (pp. 219-262). Burleigh Dodds Science Publishing.
 31. Washington State University Extension. 2018 Crop Protection Guide for Tree Fruit in Washington, EB0419.
 32. Kirby, E. & Granatstein, D. (2012). Status of Organic Tree Fruit in Washington State. Washington State Univ. Ext. EM046E.
 33. Kirby, E. and Granatstein, D. 2016. Certified organic acreage and sales in Washington State: 2007-2015.
http://csanr.wsu.edu/pages/Organic_Statistics.
 34. Kirby, E. & Granatstein, D. (2018). Recent trends in certified organic tree fruit in Washington State: 2017.
 35. USDA. Washington Tree Fruit Acreage Report, 2017.
 36. Miles, M. (2016). Organic Apple Outlook: 2015/16 Market Update & 2016 CY Forecast.
<http://www.tfrec.wsu.edu/pdfs/P2980.pdf>
 37. Johnson, J. & Prengaman, K. (2018). Washington's organic price gap grows. *Good Fruit Grower*, 2018 Jan. 9.
 38. Taylor, M., & Granatstein, D. (2013). A cost comparison of organic and conventional apple production in the state of Washington. *Crop Management*, 12(1).

6. ワシントン州のりんご生産者

ワシントン州のりんご生産者の栽培規模は、4.9 acre (2 ha) 未満の小規模から、1,000 acre (407 ha) を超える大規模なものまであり、その幅は大きい。中には3,000 ha を超える生産者もある(表5)。栽培面積別に生産者数と総栽培面積の年次推移を見ると、生産者数の減少傾向、特に中規模生産者の減少が多いこと、大規模生産者の増加(1987年14戸、2002年50戸、2012年67戸)が特徴である(図26)。総栽培面積は1997年をピークに減少・停滞傾向であり、生産者数の減少にともない平均栽培面積の増加(1987年31.5 acre、2002年44.7 acre、2012年61.3 acre)、特に1,000 acre 以上の大規模生産者の増加が顕著である(図27)。

表 5 米国の大規模りんご生産者

順位	生産者、州	樹種	りんご、なし面積 (ha)	果樹面積 (ha)
1	Stemilt Growers, WA	りんご、なし	3,642	4,599
2	Evans Fruit Company, WA	りんご	3,593	4,143
3	Gebbers Farms, WA	りんご、なし	3,084	4,547
4	Broetje Orchards, WA	りんご	2,428	3,035
5	Borton and Sons, WA	りんご、なし	2,357	2,378
6	Zirkle Fruit, WA	りんご	2,024	2,226
7	Rivermaid Trading Co., CA	なし	1,619	3,076
8	Hansen Fruit, WA	りんご、なし	1,562	1,562
9	Premiere Entities, CA	りんご	1,488	18,689*
10	Fruit Hill Orchard, VA	りんご	1,486	1,489

出所：Growing Produce (2014)³⁹⁾ より作成

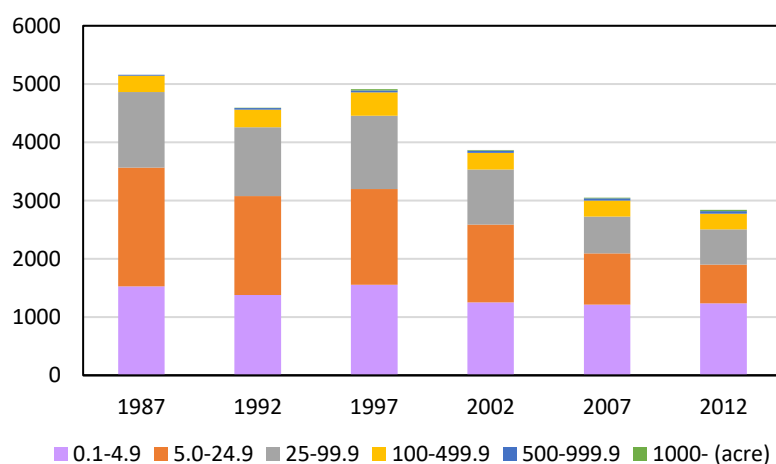
*ぶどう、ナッツ類でも全米有数

図 26 の 1997 年から 2002 年にかけての生産者の急減は、価格低迷にともなう経営不振により生産者の統合が進んだことが影響している。USDA の推定によると 1996 年～2001 年の全米のりんご産業の損失は、17 億ドルに達したという⁴²⁾。そのため、特に中小生産者、非効率の生産者は撤退を余儀なくされた。その後も、中小生産者は、労働コスト・機械コストの上昇、雇用労働者確保困難、政府の規制強化（食品安全の事務作業増）、新技術・品種の変化等に対応できず、厳しい状況にある⁴³⁾。

出荷調整を行うパッカーも、昔は協同選果場が多かったが、現在では巨大な選果場を持つパッカーや、巨大生産者兼パッカーに集約化されている。パッカーも規模が大きくなるほど選果コストが下がること、取扱量が多いほど価格交渉力が高まることから、大型パッカー同士の統合や連携の動きが進んでいる。こうしたことも、小規模パッカーの撤退とともに、中小生産者の減少につながっている。

ヤキマ郡は、多くの観光果樹園があり、年間を通して多種類の果樹をそろえ、加工品販売を行う中小生産者もある。

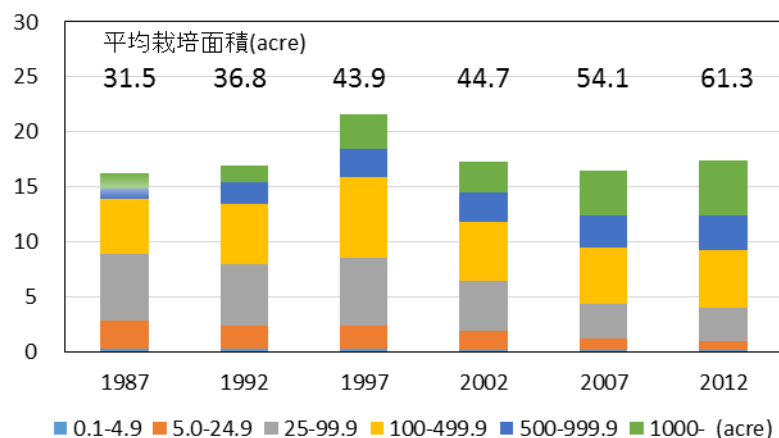
生産者数



出所：USDAワシントン州統計⁴⁰⁾より作成

図 26 ワシントン州のりんご栽培規模別の生産者数

総栽培面積(万acre)



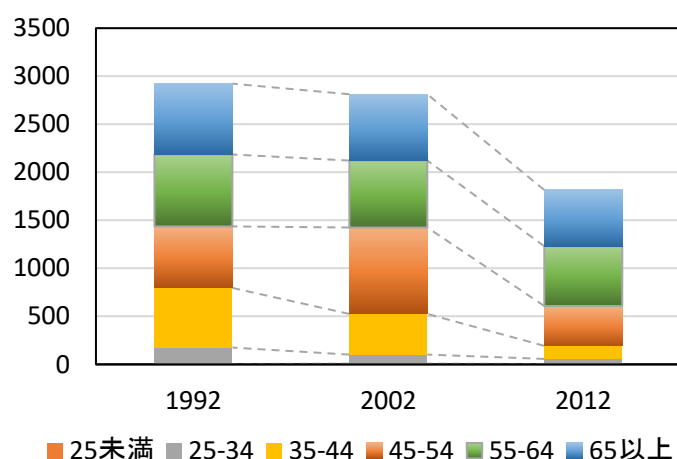
出所: USDAワシントン州統計⁴⁰⁾より作成

図 27 ワシントン州のりんご栽培規模別の総栽培面積

ワシントン州のりんご生産者（主管理者）の年齢構成を見ると、1992 年と 2002 年には大きな変化は認められないが、2012 年には全体生産者の減少、なかでも 25～54 歳の働き盛り年齢層の急減が顕著である（図 28）。それにより、55 歳以上の年齢層の割合が、2002 年から 2012 年にかけて 49.3%から 66.5%に上昇している。ワシントン州においても、後継者の問題があり、特に経営的に苦しい中小生産者にとっては、深刻な課題である。

Good Fruit Grower 誌の若手生産者を紹介するコーナー（2018、Dec.）によれば、若手へのアドバイスとして、「園芸展や講習会に行くなら、名刺と履歴書を持参しなさい。圃場を引き継げる若手を探している人が常にいる」ことが紹介されている。

生産者数

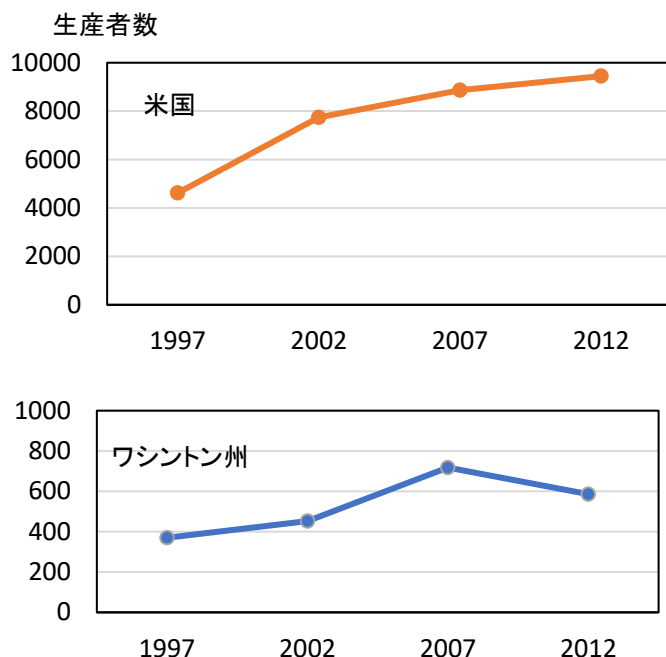


出所: USDAワシントン州統計⁴⁰⁾より作成

図 28 ワシントン州のりんご生産者の年齢構成

米国では、果樹・ナッツ類を栽培するラテン系（ヒスパニック系）生産者の数は増加している（図 29）。ワシントン州でも 2012 年調査では、586 人である。このように、ラテン系の人々は単に雇用労働者としてだけでなく、生産者として活躍している人も多い。ラテン系の生産者が特に多いヤキマ郡についてみると、2012 年の人種別管理者数（全農業分野、1 農場最大 3 人）を見ると、白人 4,631、ラテン系 1,017、その他 196 である。

生産者数の減少、高齢化が進む中で、りんご産業を発展させていくために、ラテン系の生産者に対する期待は大きい。ワシントン州果樹協会年次大会には、スペイン語のセッションもあり、熱心な討議が行われている（現地調査報告参照）。



出所：USDA統計^{40,41)}より作成

図 29 米国、ワシントン州のラテン系の果樹・ナッツ生産者

引用・参考文献

39. American and Western Fruit Grower's 2014 Top Apple And Pear Fruit Growers. Growing Produce, 2014 Sep. 13.
40. USDA. Census of Agriculture, State Data, Washington.
41. USDA. Census of Agriculture.
42. United States International Trade Commission. (2010). Apples.
https://www.usitc.gov/publications/332/ITS_4.pdf
43. Wheat, D. (2018). Small apple growers disappear as industry grows. Capital Press, 2018 Feb. 22.

7. 流通・選果・貯蔵

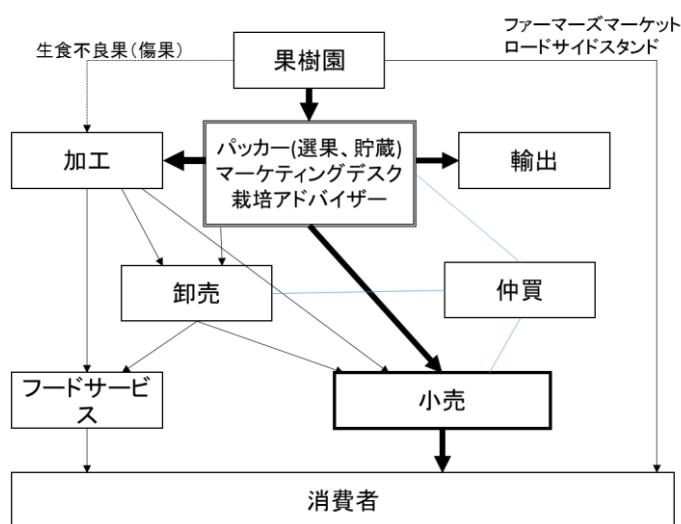
図 30 は、ワシントン州産りんごの果樹園から消費者に届くまでの流通経路である^{44,45)}。果樹園で収穫された果実は、大部分、パッカーを通じて流通し、生育不良果・傷果等は加工場に直接持ち込まれる。一部はファーマーズマーケットやロードサイドで販売される。第 2 次世界大戦以前、大部分の果実は市場競売で行われていたが、現在は、市場経由は行われていない。

収穫、輸送、貯蔵には、ビン（bin）と呼ばれる容器（1.2 m×1.2 m×0.9 mH、りんごでは400 kg程度まで収納可能）が利用される。ビンは、木製またはプラスチック製である。木製ビンは安価で修理可能であるが、プラスチック製は軽量・衛生的で取り扱いに優れることから、プラスチック製の利用が増えている。出荷には、20kg 入りの段ボールが利用される。

りんご生産・選果にかかる変動経費（栽培、収穫、燃料、選果場）の半分程度は、選果場経費が占める。ふじについての経費の概算見積もりでは、変動経費の62%が選果場経費である⁴⁶⁾。

大規模生産者は、自前で選果・貯蔵施設を持ち、パッカーでもあることが多い。パッカーは、生産者と年度ごとに契約し生産者に各種サービス（選果、貯蔵、販売、生産指導）を提供する。パッカーは、自社または共同でマーケティングセールスデスク部門を設置し、選果された果実のマーケティングを行う（表6）。大型小売は、多数の品種を並べるのではなく、限られた品種の決まったサイズ（215～264g）の果実を年間通して大量に並べる傾向にある⁴⁷⁾。この規格に合わない果実は、国内向けの袋売りや輸出に回される場合もある。

小売は、クラブ制りんごの割合を増やし、競争上の優位性を保つ動きが進んでいる。こうした小売側の要望に対して、パッカーは大量に果実を集め価格交渉力を高めるために連携・統合・最新設備への更新を進め、生産者はクラブ制品種の導入、高品質中玉果実生産を進めることになる。



（プラスチック製のビン）

出所：Schotzko & Granastein（2005）より作成

図 30 ワシントン州の流通・選果の経路

加工業者の中には、生産者が設立した Tree Top Corporate も含まれる。同社は、米国最大のりんご加工会社の一つであり、出荷できない不良果等の有効利用を目的に、生産者が集まり 1960 年に民間の同名の加工会社を買収して協同組合として設立された。りんご生産者 2,500 が参加し、生産者はワシントン、オハイオ、アイダホの各州にまたがる。取扱品目は、りんご、西洋なし等のジュース、ソース、カットフルーツ、ベビーフード等である。

表 6 ワシントン州のりんごパッカーとマーケティングセールスデスク、クラブ制品種例

マーケティングセールス デスク	パッカー	クラブ制品種の例
Chelan Fresh	Apple House, Borton & Sons, Chelan Fruit, Crane & Crane, Gebbers Farms, Obert	Koru, SugarBee
CMI	Columbia Fruit, Double Diamond, Highland Fruit, McDougall & Sons	Kanzi, Kiku, Smitten
Domex	Blue Bird, Cowiche Growers, CPC International, Fresh Fruit, Kershaw Fruit, Monson Fruit, Quincy Jack Frost, Windy Point	Autumn Glory
Evans Fruit	Evans Fruit	
First Fruit Marketing	Broetje, Congdon Orchards	Opal, Sweetie
L&M	Andrus & Roberts, Apple King, Conrad & Adams, Eakin Fruit, Strand	
Northern Fruit	Northern Fruit, Independent Warehouse	
Oneonta	Columbia Reach, Custom Apple, Davis Orchards, Diamond Fruit Growers, G & G, Gilbert Orchards, Prentice	Juci, Koru
Rainer	Allan Bros., Blue Star Growers, Columbia Valley, Earl Brown & Sons, Matson Fruit, Price Cold Storage, Zirkle Fruit	Lady Alice
Sage	Legacy Fruit, Olympic Fruit, Oregon Cherry Growers, Valicoff	Breeze, Sonya
Stemilt	Douglas Fruit, Peshastin Hi-Up, Stemilt	Piñata, Sweet Tango
Vanguard Pride Packing	Vanguard Pride Packing	
Washinton Fruit	Hansen Fruit, Underwood Fruit, Washington Fruit	
Yakima Fresh	Roche Fruit, Stadelman Fruit, Yakima Fruit	
Others (each)	Auvil, Baker Produce, EW Brandt & Sons, Fourth Leaf Fruit Company, Honey Bear Tree Fruit Company, Honeybear Marketing, Independent Warehouse, Manson Growers, Pine Canyon Growers and others	Aurora (Auvil), Smitten (Honey Bear Tree Fruit Company)

出所：2018 Industry Perspective Apples⁴⁷⁾、クラブ制りんごはワシントン州リンゴ委員会資料より作成

りんご生産においても、持続可能性は重要な視点である。The Sustainability Consortium (TSC) は、アリゾナ州立大学・アーカンソー大学が運営し、Walmart、巨大エネルギー・化学（農薬）メーカー等を会員とする世界的な非営利団体であり、消費者に持続可能性の高い製品を提供することを目的とする。りんごについては、農業生産でのエネルギー関係インパクト低減、必要量に合わせた肥料・水管理（精密農業）、肥料・土壌流亡・温暖化ガス排出等への配慮、農薬の不適切使用防止（使用者教育）・強制労働・子供労働防止、小規模農家への支援（情報、技術、資源）、女性・移民に対する権利・健康・安全の確保を重要視している⁴⁸⁾。持続可能性を評価するプログラムには、Food Alliance、Protected Harvest、Eco Apple、Global Gap 等もあり、今後、ますますりんご生産も持続可能性が重要視される⁴⁹⁾。

りんごの選果

ワシントン州の大規模パッカーでは、注文に応じつつ、短時間に大量で多様な品種を選果する必要がある。有機栽培された果実や、出荷・加工・貯蔵等の仕向けも考慮して選果を行っている。

パッキング形式には、Commit-to-pack システム（貯蔵果または収穫果を選果・箱詰してそのまま出荷）と Presizing システム（選果してビンに戻して保管、受注後出荷）がある^{47), 50)}。Commit-to-pack システムは注文確定前から箱詰めするので短時間で作業が進むが、販売担当者はなんとか売りさばく必要がある。販売できなければ、そのまま損出につながる。一方、Presizing システムは注文を受けてから、箱詰めするので売れ残りの心配はない。しかし、注文を受けてから箱詰めするので、出荷までに時間がかかるため、顧客を他のパッカーに奪われる可能性もある。また、Presizing システムでは、複数生産者の果実を合わせる場合もあり、食品トレーサビリティの観点から厳格な管理が必要である。ワシントン州の大規模パッカーは、通常、両方のシステムに対応可能である。選果ラインは自動化が進み、品質についても大きさ、色、果形、グレード、傷、内部品質の評価が行われ、生食用、加工用（カットフルーツ、ジュース、ソース等）に選果される。

ワシントン州におけるりんご選果・パッキングの過程は選果施設により異なるが、その一例を紹介する。



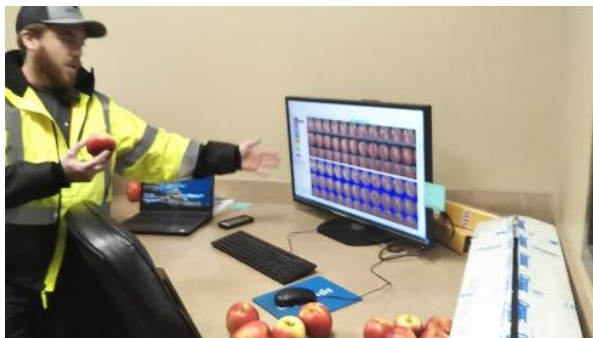
ビンに入れられて運ばれてきた果実を水槽の中に自動で下ろす。



洗浄（水質は常にモニターしている）



水槽から選果レーンへ



外観では識別できない果実の傷みを近赤外線カメラで評価

果実全面（360度回転）画像から、障害面積の程度に応じて選別

（障害部分の直径が 12.7mm 未満であれば最高等級）



除かれた障害果



障害果は再びビンに入れられて加工用に



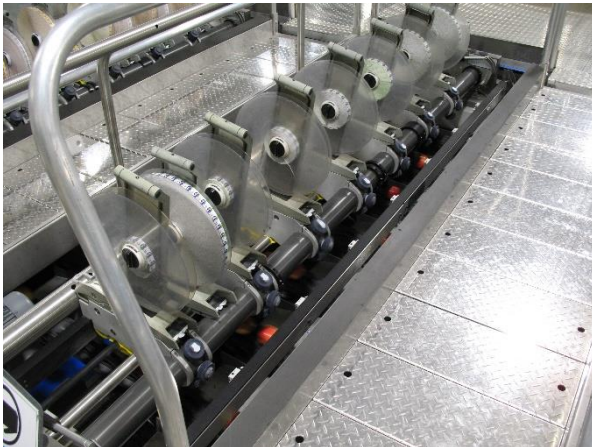
障害のない果実は再び水槽の中を移動



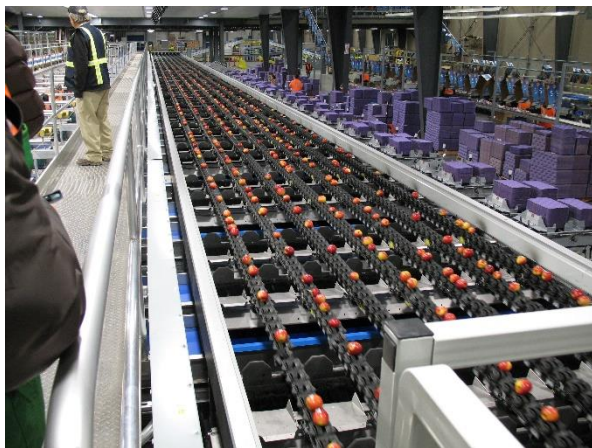
ワックス処理



乾燥処理後に再び選果レーンへ



自動ラベル貼り付け装置



果実のサイズで選果



サイズごとに箱詰め



箱詰め前の確認は目視で

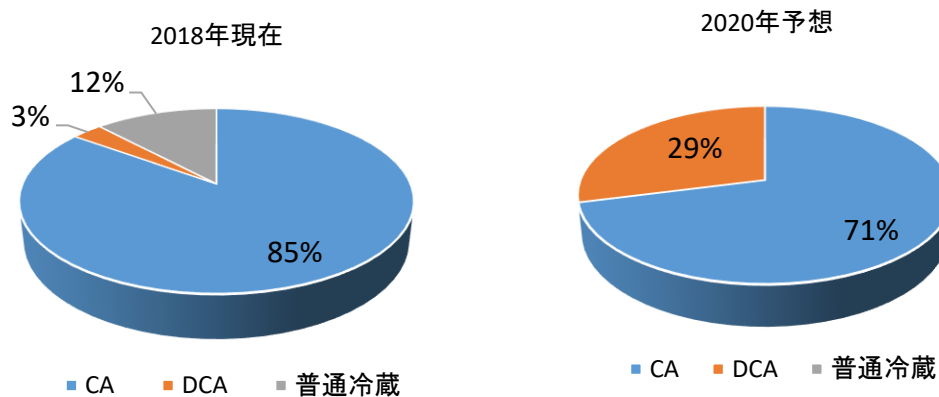
米国のOrganic101では、食品流通加工業者の規程があり、選果場の有機りんごにも適用される。そのため、非有機果実の区別、選果施設での化学物質管理は厳格さが求められる⁵¹⁾。主のポイントは以下のとおりである。

- 1) 水流式水槽、選果ラインの洗浄
- 2) 水槽の次亜塩素酸ナトリウム濃度（殺菌用）0.2%未満
- 3) ワックス処理は一般に行われない（天然物由来ワックスは禁止ではない）
- 4) DPA（やけ防止剤）、TBZ（防かび剤）は使用禁止

貯蔵

ワシントン州のりんごの貯蔵は、大部分がCA（Controlled atmosphere）方式である（図31）。CAは、酸素濃度を下げ二酸化炭素濃度を上げて、呼吸とエチレンの生成を抑制する貯蔵方式である。好適な、酸素濃度および二酸化炭素濃度は2%程度であるが、品種、地域、1-MCP（エチレン阻害剤）・DPA（ジフェニルアミン）の使用有無等で異なる^{53,54)}。

DCAはDynamic CA storageの略で、酸素濃度を限界まで下げて貯蔵する方式（例として、酸素濃度0.8%未満、二酸化炭素濃度1.5%未満）で、広い意味でCA貯蔵の一種である⁵⁵⁾。ダイナミックの意味は、果実が過度のストレスを受けないように、クロロフィル蛍光、エタノール、呼吸商等をモニタリングしながら制御することによる。有機りんごでは、1-MCP⁵⁶⁾、DPAの利用ができないことから、貯蔵期間を延ばすためにDCAの普及が進むことが考えられる。DPAは、やけ症状防止に有効であるが、EUでは禁止されていることから、今後の使用は不透明となっている⁵⁵⁾。



出所：Good Fruit Grower (2018, Jan.2)⁵²⁾より作成

図31 ワシントン州のりんごの貯蔵法

引用・参考文献

44. Schotsko, R.T. & Granatstein, D. (2005) A brief look at the Washington apple industry: past and present. Washington State University, School of Economic Science. SES04-05,
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.492.6148&rep=rep1&type=pdf>
45. United States International Trade Commission. (2010). Apples.
https://www.usitc.gov/publications/332/ITS_4.pdf
46. Gallinato, S. P. & Gallardo, R. K. (2016). 2014 cost estimates of establishing, producing, and packing Fuji apples in Washington State. Washington State University Extension, TB29.
47. 2018 Industry Perspective Apples. Northwest Farm Credit Service.
48. The Sustainability Consortium, Apples sustainability insights. https://www.sustainabilityconsortium.org/wp-content/themes/enfold-child/assets/pdf/insights/Apples_Sustainability%20Insights.pdf
49. Granatstein, D. (2017). Assessing the environmental impact and sustainability of apple cultivation. In: Evans, K. (ed.) *Achieving sustainable cultivation of apples* (pp. 523-549). Burleigh Dodds Science Publishing.
50. Pre-sizing and Packing. Washington State University.
<http://treefruit.wsu.edu/postharvest/pre-sizing-and-packing/>
51. WSU Tree Fruit Research & Extension Center, Postharvest Information Network. Handling organic fruit.
<http://postharvest.tfrec.wsu.edu/pages/PC98U>
52. Prengaman, K. (2018). The challenges of storing organic apples. Good Fruit Grower, 2018 Jan. 24.
53. Watkins, C.B. et. al. (2016) .Apple. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. <https://www.ars.usda.gov/is/np/CommercialStorage/CommercialStorage.pdf>.
54. Mattheis, J. P. (2008). How 1-methylcyclopropene has altered the Washington State apple industry. *HortScience*, 43(1), 99-101.
55. 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.
56. National Organic Standards Board. Petitioned Material Proposal 1-Methylcyclopropene (1-MCP).
<https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/CS1MCPNov2016.pdf>

8. 労働力問題

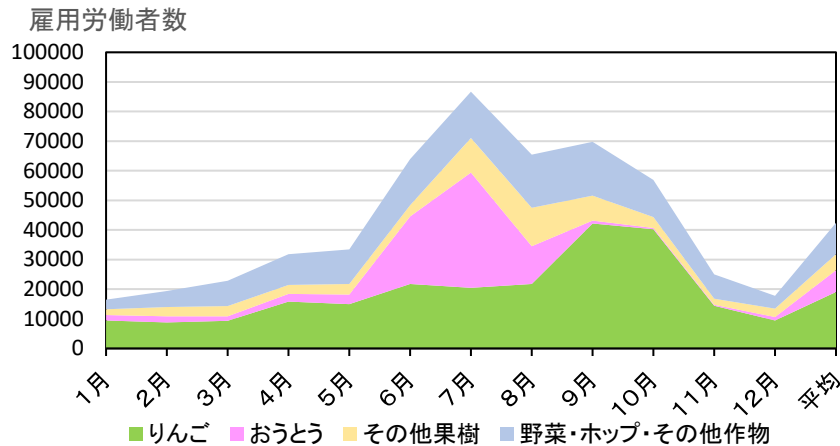
ワシントン州の農業は、労働力不足に直面している。労働力は、主にメキシコからの移民労働者に依存してきたが、その数も減少傾向にある。

ワシントン州における農業労働者の不足がどのような問題を引き起こしているかについてアンケート調査が行われ、以下のような点が結論としてあげられている⁵⁷⁾。

- 1) 労働力問題（労賃の上昇、他分野との労働者の競合、労働者不足、高い転職率等）
- 2) 労働力問題による経済的損失の有無（中規模農家（101-500 acre）で多く発生、1,000 acre 以上では、最も少ない）
- 3) 具体的損失（品質低下、収量低下）
- 4) 労働力不足により適期作業（収穫、一般管理）ができない。収穫遅れや管理の不徹底による品質低下、収量低下

5) 今後の方向（機械化、H-2A 労働者の増加、効率的で労働集約度の低い機械化された農園は労働者にも魅力的）

ワシントン州の作物生産における月別の雇用労働者数は、図 32 のように夏に多く冬に少ない^{58, 59)}。最も雇用労働者を必要とするのが果樹栽培であり、りんご、おうとう、その他果樹（西洋なし、ぶどう、ブルーベリー、ラズベリー等）を合わせると、年間平均で全体の雇用労働者の 75%に達する。

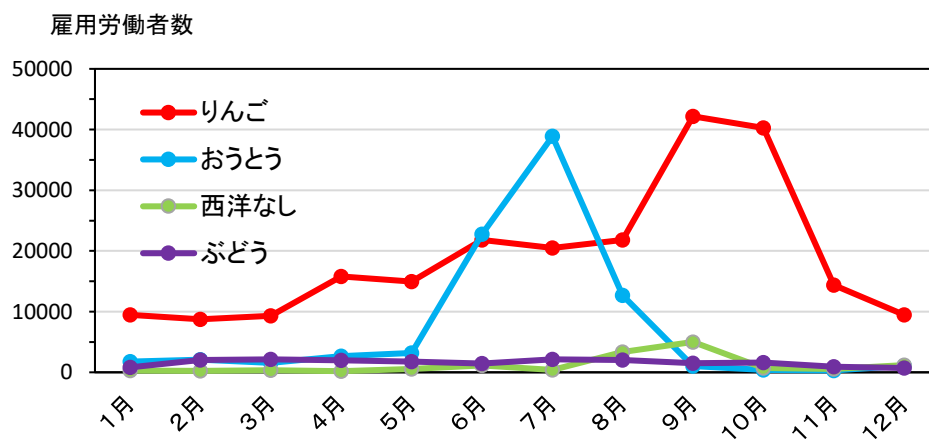


出所: 2013 Agricultural Work Force⁵⁸⁾より作成

図 32 ワシントン州の作物分野別の雇用労働者数

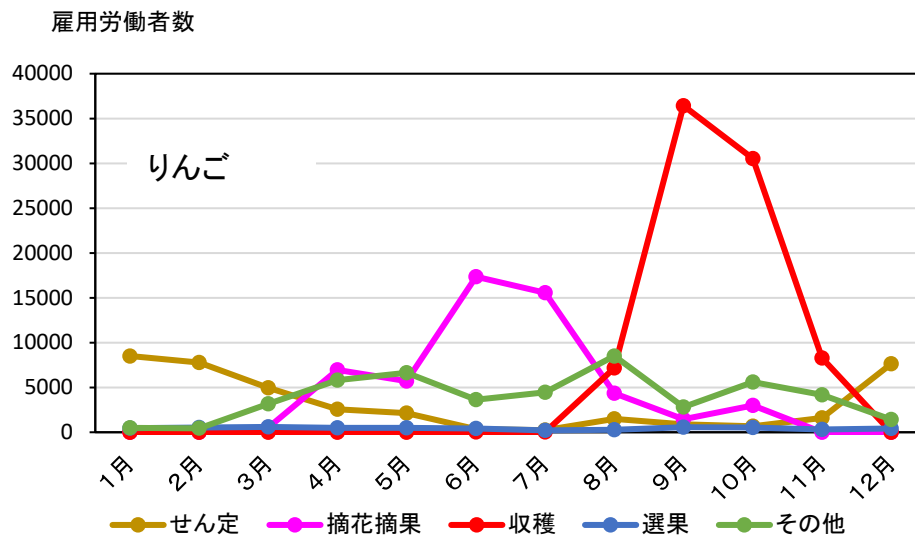
ワシントン州の主要果樹である、りんご、おうとう、西洋なし、ぶどうについて月別の雇用労働者数の変化を示した（図 33）。りんごは、最も雇用労働を必要とする樹種である。そのピークは9月、10月であり、この時期には約4万人の雇用労働が必要になる。おうとうは6月から8月に、西洋なしは8月、9月にピークがある。ぶどうは、年間を通じて作業があること、収穫の自動化も進んでいることから、明らかなピークはない。

りんごについて作業別に雇用労働者数を見ると、9月、10月が多いのは、収穫作業の時期に当たるためである（図 34）。そのほか、6月、7月の摘花摘果作業、12月から3月までのせん定作業にも多くの労働者を必要とする。



出所: 2013 Agricultural Work Force⁵⁸⁾より作成

図 33 ワシントン州のりんご、おうとう、西洋なし、ぶどうの雇用労働者数



出所：2013 Agricultural Work Force⁵⁸⁾より作成

図 34 ワシントン州のりんご栽培作業別の雇用労働者数

米国農業は、歴史的に見ると中国、日本、メキシコ等の移民労働者に支えられてきた。現在は、メキシコからの移民が圧倒的に多い。メキシコとは、ブラセロプログラム（1942～1963 年）で季節労働者を受け入れてきた（契約期間が終われば帰国）。ブラセロプログラムは 1964 年に終了することになり、実用化研究（機械、品種）が急速に進み、加工用トマトでは 1968 年にはほとんどが機械収穫（新品種 VF-145 利用）で行われるようになった。その後、不法移民も多くなり、りんごでは労働力確保の危機感は薄れた。

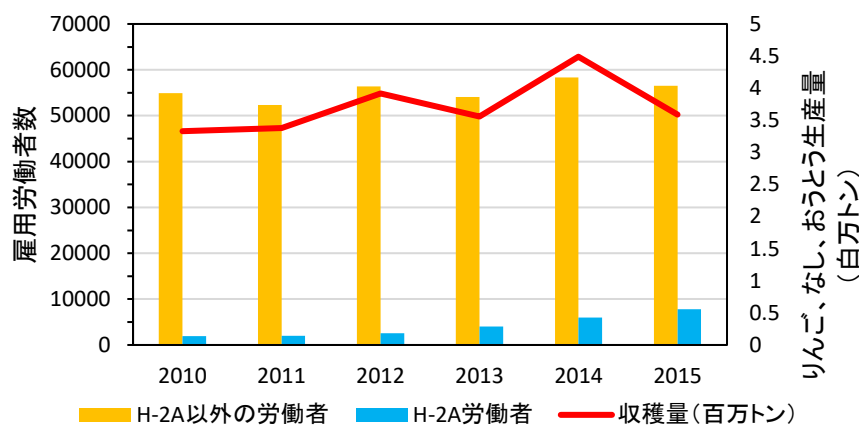
しかし、1980 年以降、メキシコ農村部からの農業労働者数は、顕著な低下傾向（年間 15 万人ずつ減少）となり、収穫作業等に影響が出るようになった。この大きな要因は、メキシコの経済発展、出生率の低下、教育の向上（高校以上の学校に行く人の増加）である^{60, 61)}。メキシコでも農業労働者の確保が問題となり、アメリカとは競合する関係にある。メキシコは、2014 年にグアテマラと臨時雇用の受入協定を締結している。また、農業は他の産業に比べ低賃金、きつい労働、過酷な気象条件、季節労働等の理由で希望者が限られることも要因である⁶²⁾。よく言われる、国境管理の厳格化の影響は少ないと考えられている。

雇用労働者については人数の減少だけでなく、高齢化（若い移民の減少）、女性の割合が増加している⁶³⁾。高齢者、女性は、脚立・はしごを使った収穫作業が困難になる場合もあり、高所作業台車やコンベヤ装置の導入の必要性が高まることにつながる。

雇用労働者を正式に受け入れる制度として H-2A があり、この制度を利用した労働者は、近年、増加している（図 35）。H-2A は、米国人労働者不足のため一時的に農作業に就く目的で渡米するためのビザで、労働省、国土安全保障省、国務省の承認・申請手続きが必要である⁶⁵⁾。雇用者は労働省に、当該業務に国内労働者を利用できないこと、外国人労働者雇用で国内労働者の給与や労働条件に悪影響を及ぼさないことを示し承諾を得る。次に雇用者は、国土安全保障省に外国人労働者雇用の応募申請許可を得る。それを受けて、海外在住の外国人労働者は、アメリカ大使館や領事館で国務省の H-2A 非移民ビザの申請許可を得る。

また、雇用にはかなりのコストがかかる。州で決められた最低以上の賃金（今後、着実に上昇）を支払う必要があり、その他、・交通費（海外からの移動、職場までの費用含む）、宿舍建設・借り上げ費、

事務費・管理費等も負担する必要がある⁶⁴⁾。



出所: Economic Contribution of Washington H-2A Workers⁶⁴⁾より作成

図 35 ワシントン州のりんご、西洋なし、オウトウ生産量と雇用労働者数 (H-2A、H-2A 以外)

引用・参考文献

57. Clark, M. (2017). Washington state's agricultural labor shortage. Washington Policy Center.
58. Peinecke, D. et.al. (2015). 2013 Agricultural Workforce Report.
59. Peinecke, D. et. al. (2016). 2015 Agricultural Workforce Report.
60. Charlton, D., & Taylor, J. E. (2016). A Declining Farm Workforce: Analysis of Panel Data from Rural Mexico. *American Journal of Agricultural Economics*, 98(4), 1158-1180.
61. Zahniser, S. et.al. (2018). Farm Labor Markets in the United States and Mexico Pose Challenges for U.S. Agriculture. USDA.
62. Calvin, L. & Martin, P. (2010). Labor-intensive U.S. fruit and vegetable industry competes in a global market. USDA, Economic Research Service.
63. Brady, M. P. & Gallardo, R. K. (2014). Labor prospects for the Washington tree fruit industry. WSHA-Annual Meeting 2014.
64. ECONorthwest. Economic contributions of Washington H-2A workers.
65. Bruno, A. (2017). H-2A and H-2B Temporary Worker Visas: Policy and Related Issues. Congressional Research Service.

9. りんごの樹形

わい性台木を使ったりんごの樹形には、スピンドル、トールスピンドル、スーパースピンドル、パイアクシス (Bi-axis)、V-トレリス等がある (表 7、図 36)。米国東部では、トールスピンドルが最も一般的な樹形システムであり、米国西部ワシントン州では、V-トレリス、バーティカルトレリスが一般的である⁶⁸⁾。

V-トレリスは、1 樹 2 本主幹でなく、交互に角度を付けて密植し V 字 (列の断面) とする樹形である⁶⁹⁾。高収量が期待できるが、資材費が高くなる。バーティカルトレリスは、3～5 列のトレリスに枝を誘引する。両システムとも、精密なせん定と誘引作業が必要である。

パイアクシスはイタリアで開発された 1 樹 2 本主幹の平面的な樹形システムである。接ぎ木によりバ

イアクシス苗木を生産する技術はBibaunと呼ばれ特許となっている。2本主幹であることから通常の樹形システムに比べ樹勢調整がしやすい特徴がある。将来、苗木の育成方法が改善すれば3本以上の主幹のシステムも採用されることが予想される。

表 7 りんご樹形システムの例

樹形システム	列間 (m)	樹間 (m)	栽植数 (本/ha)	特徴
スピンドル	3.5	1.2	2,000～3,000	大きな樹冠、樹冠内部の果実品質低下、機械化難
トールスピンドル	3.3	0.9	2,500～3,000	総合的に良好な樹形、平面樹形にも移行可、機械導入適
スーパースピンドル	2.5～2.75	0.3～0.35	10,390～13,333	平面樹形低樹高、高生産性、苗木多数必要
バイアクシス	3.3	1.2	2,525	2本主幹、平面樹形、光環境良好、収穫機械導入適、苗木育成やや難
V-トレリス	3.5	0.5～0.75	～5,000	高い受光率と生産性、平面樹形、資材費高い
バーティカルトレリス	3	1.2	2,690	平面樹形、光環境良好、収穫機械導入適

出所：Musacchi&Green (2017)⁶⁶⁾、その他各種資料から作成

機械化に適する理想的な樹形は、SNAP または fruit wall と呼ばれる樹形である (図 36)。SNAP は、単純 (Simple)、幅が狭い (Narrow)、届きやすい (Accessible)、生産性の高い (Productive) な壁面的 (Wall) な樹形である^{70, 71, 72)}。こうした樹形は収量・品質面でも良好である。

孤立した果樹の樹冠は、それぞれが3次元であるが、2次元に近くなるように密植・整列させて壁面のような樹列構造とするものである。その代表的な樹形がトールスピンドル、バーティカルトレリス、バイアクシスである。トールスピンドルは、長野県で導入が進んでいる高密度栽培の樹形である。

一般的に、普通栽培の果樹では1本1本の木に個性があり、全体で見ると4次元的な管理が必要になる。このような場合、樹ごとに枝の配置や日当たり等きめ細かな配慮が必要であり、機械化には難がある。一方、2次元的な樹形では、光利用効率がよく、作業がしやすい特徴があり、高所作業台車や収穫ロボットも導入しやすい。ただし、支柱・トレリスが必要であり、フェザー苗も多数必要になる。

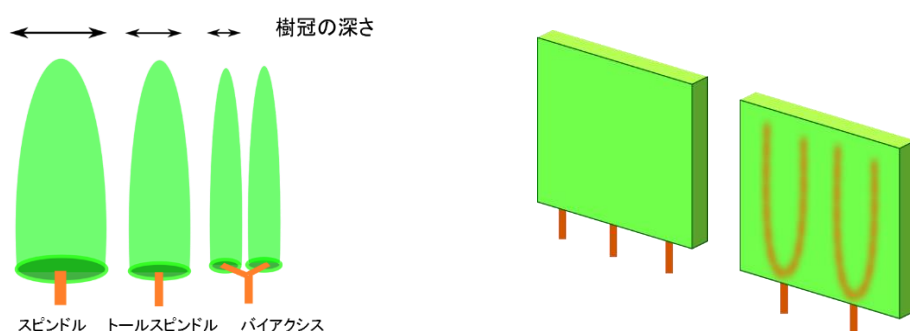


図 36 りんごの樹形と樹冠の深さおよび壁面的樹形

米国で使われている台木は5種類であり、ブダゴフスキー (Bud またはB)、コーネル/ジェネーバ (CG またはG)、モーリング (M)、モーリングマートン (MM)、マーク (MARK)、イーストモーリング/ロングアシュトン (EMLA) である。ワシントン州では、特に推奨する決まった台木があるわけではなく、土壌型、気候 (耐凍性)、生産システム、品種、必要な病虫害抵抗 (改植に係わる病害、火傷病、クラウンロット、リンゴワタムシ)、灌水システム、遮光ネットの利用の有無等によって生産者が判断する^{73,74)}。州立大学でのWA38 (コズミッククリスプ) の現地適応試験では、台木としてM.9-Nic29、G41 を利用している。

引用・参考文献

66. Musacchi, S. & Green, D. (2017). Innovations in apple tree cultivation to manage crop load and ripening. In: Evans, K. (ed.) *Achieving sustainable cultivation of apples* (pp. 219-262). Burleigh Dodds Science Publishing.
67. Robinson, T. L. et.al. (2008). The tall spindle planting system: principles and performance. In IX International Symposium on Integrating Canopy, Rootstock and Environmental Physiology in Orchard Systems 903 (pp. 571-579).
68. Robinson, T. et. al.. (2013). A vision for apple orchard systems of the future. *New York Fruit Quarterly*, 21(3), 11-16.
69. Marshall, D. et. al. (1993). Estimated Cost and Returns of Replanting an Apple Orchard to a Double Row V-Trellis High Density System in Central Washington, EB1735.
<http://ses.wsu.edu/wp-content/uploads/2018/10/EB1735.pdf>
70. Sazo, M. & Robinson, T. (2013). Recent Advances of Mechanization for the Tall Spindle Orchard System in New York State – Part 1. *New York Fruit Quarterly*, 21(1), 15-20.
71. Dorigoni, A. (2013). The fruiting wall concept: an alternative way of training, pruning, thinning apple trees.
http://apal.org.au/wp-content/uploads/2013/04/fo-ow-13-jun-dorigoni-fruit-wall_8.pdf
72. Lewis, K. (2016). Orchard mechanization in Washington State.
73. Apple Rootstocks. WSU Tree Fruit. <http://treefruit.wsu.edu/web-article/apple-rootstocks-2/>
74. Rootstocks. Apple. WSU Tree Fruit. <http://treefruit.wsu.edu/varieties-breeding/rootstocks/>

10. りんご生産の機械化全般

ワシントン州のりんご栽培では、トラクターとトラクター牽引式の作業機が使われている。トラクターは樹園内を走行するため、主に中小型のトラクターが使用される。小型トラクターでもキャビン付きとキャビンなしのトラクターがあり、キャビン付きでも、樹園地内を走行しやすいように全高の低いタイプもある。

スプレーヤは、日本で一般的に使用されているような自走式のスピードスプレーヤは見られず、トラクター牽引式ばかりである。また、ノズルの配置も、円筒形の機体周囲についているスプレーヤは少なく、樹形



キャビン付きトラクターの例

に合わせて4 m程度の高さまで上下方向にノズルを配置したスプレーヤが多い。また、樹列幅、目標散布量を入力し、車速から散布量を自動で制御することができる後付けのコントローラも市販されており、どのようなスプレーヤ、トラクターにも後付けすることができ、ワシントン州では散布量を制御するこ

とが一般的になっている。



スプレーヤーの例

草刈機も、日本で一般的に使用されている乗用モアは見られず、トラクター牽引式のモアが多い。その他、運搬用機械として、フォークリフト、ビントレイラー、ピックアップトラックなどが使用される。

表8は、ワシントン州のりんご栽培で必要とされる一般的農業機械と経費である。

以下に、日本の果樹栽培ではあまり見られない機械について紹介する。



草刈機の例

表 8 りんご園の一般的な農業機械

一般農機、機械装備	単価（\$）	単価（万円）	果樹園（120ha）での必要台数	果樹園（120ha）での必要金額（万円）
トラクター（70HP, 4WD）	32,500	358	5	1,788
トラクター（40HP, 4WD）	25,000	275	2	550
4 wheeler（4駆運搬車）	7,500	83	3	248
スプレーヤ	20,000	220	5	1,100
除草剤散布用ブームスプレーヤ、タンク	7,000	77	1	77
ロータリーモア（7 ft）	5,000	55	1	55
フレイルモア	8,000	88	1	88
フォークリフト	25,000	275	2	550
収穫ビントレイラー	7,500	83	3	248
ピックアップトラック	20,000	220	1	220
脚立-8'	100	1	100	110
ボックスブレード、ストレートブレード、ローダー、ウィーダー（除草）、肥料散布機、goher baiter（ネズミ用薬剤処理機）、土壌通気機械、多目的トレーラー、脚立用トレーラー、簡易トイレ	50,000	550	1	550
コンプレッサー、溶接機、高圧洗浄機等	15,000	165	1	165
計				5,748

（1\$=110円換算）

出所：Gallinatoら（2016）^{75）}より作成

1）高所作業台車

アメリカやヨーロッパでは複数の農業機械メーカーから高所作業台車が市販されている。高所作業台車は自走する走行部、複数の作業者が異なる高さで作業することのできる作業台、ビン積載部を備えており、一部の型式は収穫した果実を作業者の手元からビンに搬送する機構も備えている。収穫補助作業台車を使用したりんご収穫作業では、従来、脚立を使用していた収穫作業で必要であった脚立を動かす、脚立の上り下りをする、収穫カゴを持ち運ぶ等といった作業が必要なくなり、作業者の作業効率向上と労働負担軽減を図ることができる。りんご収穫中の作業姿勢を改善し、脚立から落ちる危険からも解放される。



高所作業台車の例

2) せん定機

ワシントン州のおうとう栽培においては、一部の生産者がトラクタマウント式のヘッジャーを用いて機械せん定を行っている。りんご栽培でも試験的に機械せん定が試みられており、休眠期と夏期に機械せん定を行うことで、3次元のスピンドル樹形から2次元の狭い壁面樹形へ転換する研究も行われている。ヘッジャーは切断刃を複数備えて、それぞれの角度を油圧で変えることができるようになっており、樹列の側面と天面、下面を同時にせん定することができるようになっている。



せん定機の例

3) 摘花機

摘果剤として使用されていたカルバリル（殺虫剤）は幼果期でも効果があるので使いやすく、湿潤気候の米国東部では重要な剤だが、毒性が強くヨーロッパでは使用禁止となり、米国でも大手有機スーパーの Whole Foods が同剤使用果実の取扱いを停止するなど、摘果剤の使用を抑える動向もあり、機械による摘花作業が注目されている。

ドイツ製のトラクタマウント式の摘花機や、ワシントン州立大学で行われた研究成果を基にワシントン州内の企業で商品化された手持ち式の摘花機による摘花作業がりんご、おうとう、核果類で試みられている。基本的な構造はどちらも複数のコードを持つロッドを高速回転させて、花をはじき飛ばすものである。

4) 受粉機

多目的ビークルに積載して受粉作業を行うための受粉機が花粉業者から販売されている。電動モーターでオーガを回転させて花粉タンクから花粉を定量供給し、エンジンプロワーで散布する機構である。



手持ち式摘花機

(Automated Ag 社 提供)



受粉機の例

5) その他ワシントン州立大学で研究中の果樹栽培用機械

・自律走行式ビン運搬車

空のビン（果実収穫コンテナ）を果樹園内に置いて、果実でいっぱいになったビンを集めることができるビン管理システムを開発することを目的に、自律走行式ビン運搬車の研究を行っている。

試作した自律走行式ビン運搬車は、樹列間でビン同士がすれ違うことができない狭い果樹園を走行するため、四輪独立操舵システムと、ビンを持ち上げて地上に置かれたビンをもたいで通過することができる機能を備えている。RTK-GPS と Lidar による自律走行制御の検討が行われており、走行経路の RMSE（Root Mean Squared Error）は GPS ナビゲーションシステムで 0.4m/s での走行時に 0.05m 未満、Lidar ナビゲーションシステムで 1.0m/s での走行時に 0.07m であった。



自律走行式ビン運搬車

・ラズベリーの結束機

ラズベリーの若い茎を束ねて結びつける作業を自動化することを目的に、自動結束機構の開発を行っている。メカニカルアームを使って、接着テープを茎の束の周りを回して結束する機構で、試験による結束成功率は94%であった。また、マシンビジョンによる茎の検出と位置認識技術の開発や、結束テープの耐久性の評価も行っている。

・ドローンによる作物センシング

節水管理と生育調節を目的に地下灌水を行ったぶどう樹の生育状態をドローンで計測する試験を行っている。ドローンにはマルチスペクトルカメラ、熱赤外カメラ、Lidar といったセンサを搭載し、樹勢や樹冠温度を測定している。



ラズベリーの結束機



作物センシングに用いるドローン

・せん定の自動化

せん定作業の自動化のために、枝の形状識別技術とせん定か所を特定するアルゴリズムの研究を行っている。りんご栽培において、よりアクセスしやすく生産性の高い2D 樹形の採用により、せん定作業を自動化できる可能性が生まれたとのことである。枝の形状識別にはToF カメラ（光の飛行時間により3次元情報を計測できるカメラ）を用いて、りんごの木の3D 骨格情報を構築する取組がなされている。

・おうとうの静電受粉

効果的な機械受粉システムを開発することを目的に、溶液に混ぜた花粉を市販されている静電スプレーヤで散布する人工授粉方法の研究を行っている。花はわずかに負電荷を帯びているため、静電スプレーヤで+の電荷を付加して、花粉使用量を削減しつつ、着果量と収量を増加させるために、最適な花粉量や散布時期の検討や、溶液内での花粉生存時間を延長する技術開発に取り組んでいる。



静電スプレーヤ

引用・参考文献

75. Gallinato, S. P. et. al. (2016). 2014 cost estimates of establishing, producing, and packing organic Gala apples in Washington.
76. Anderson, R. J. (2017). Extension. NYS apple growers partner on innovation. Cornell Chronicle.
77. Zang, Z. et. al. (2016). The development of mechanical apple harvesting technology. A review. *Transactions of the ASAE American Society of Agricultural Engineers*. 59(5):1165-1180.

(大西 正洋)

11. 高所作業台車による効率化とコスト評価

ワシントン州において高所作業台車 (platform) の利用状況と、使用する理由・使用しない理由に関するアンケート調査が行われている (表9)。回答数316のうち、使用しているとの回答35、使用していないとの回答281であり、使用している割合はわずかに11%である。

高所作業台車を使用している理由として、労働生産性の向上、労働者の安全、労働の質向上等が多い。高所作業台車を利用する作業は、せん定 (回答数31、以下同じ)、整枝 (23)、摘果 (21)、トレリス設置 (15) であり、収穫は1と少ない。

使用していない理由として、樹形・果樹園の方式が不適合、高額、傾斜果樹園、維持管理費が高い等の回答が多い。アンケート時点での、導入に適する果樹園 (SNAP 樹形) の割合は、20%未満である。使用していない場合の樹形は、47%が普通栽培の主幹形である。

表 9 高所作業台車を使用する理由と使用しない理由

高所作業台車の使用理由	回答者数 (n=35)	高所作業台車を使用しない理由	回答者数 (n=281)
労働生産性向上	32	樹形・果樹園方式不適合	184
労働者の安全	31	機械が高額	150
労働の質向上	29	傾斜果樹園	112
購入費回収可能	28	維持管理費が高い	100
運転しやすい	28	労働生産性の向上なし	95
		ディーラーでの取扱が限られる	76

出所: Gallardo & Brady (2015)⁷⁸⁾より作成

Gallardo and Brady (2015) は、高所作業台車導入のコスト評価についても試算している。脚立収穫では、8人10時間で60ビン収穫できることから0.75ビン/(時・人)となり、収穫経費単価 (出来高賃金) は23.5\$/ビンとなる。高所作業台車の1年当たりの機械経費、収穫量から追加経費を計算すると

2.68\$/ビンとなることから、収穫効率を0.846ビン/(時・人)、すなわち少なくとも13%効率化されればペイすることになる。

Lewis (2015) は、SNAP 樹形において高所作業台車が従来のはしごを使った作業に比べどの程度効率されるかとりまとめている(表10)。それによると、いずれの作業においても大幅な効率化が認められている。

表 10 高所作業台車を使用した場合の効率化程度

(りんご、高樹高密集植狭幅樹形)	
作業	効率化(%,脚立比)
剪定	+ 25~40
整枝	+ 40~60
摘花	+ 25~45
摘果	+ 35~45
フェロモン設置	+ 75
結束	+ 65~116
トレリス設置	+ 15~20

出所: Lewis(2015)⁷⁹⁾より作成

収穫は、果実をとる作業、果実をビンに搬送する作業、果実の入ったビンを交換する作業、ビンの搬送等が全体としてスムーズに行われる必要があり複雑である。コーネル大学(ニューヨーク州)のグループは、市販の収穫用の高所作業台車の特徴と労働効率を取りまとめている。高所作業台車は、収穫できる範囲が樹全体か上部だけか、収穫果実をビンに搬送するのは人力か機械か、自走式かトラクターけん引式か等特徴が異なり、労働能率の向上は20~50%としている⁸⁰⁾。



高所作業台車でのりんご収穫作業

(Automated Ag 社 提供)

引用・参考文献

78. Gallardo, R. K. & Brady, M. P. (2015). Adoption of labor-enhancing technologies by specialty crop producers: The case of the Washington apple industry. *Agricultural Finance Review*, 75(4), 514-532.
79. Lewis, K. (2015). Labor management in modern orchards and opportunities for mechanization. <http://apal.org.au/wp-content/uploads/2013/04/Karen-Lewis-Future-Orchards-Mar-2015.pdf>
80. Robinson, T. & Sazo, M.M. (2013). Advances in mechanization of the tall spindle apple orchard system: Part 2 – Harvest mechanization prospects. *NY Fruit Quarterly*, 21(3), 3-7.

12. 機械収穫、ロボット収穫

米国で機械収穫が行われている果樹は、加工用のオレンジ、おうとう、ぶどう、りんご、ベリー類等である^{81, 82, 83)}。

その収穫方法はいわゆる振動収穫 (shake and catch) であり、幹や樹冠全体を振動させる、または、回転あるいは横振動する細いロッドで果実 (果粒) を軽くたたき、樹体から離脱した果実を、下で回収する。こうして収穫された果実は、果実に擦れや傷がついても大きな問題にならない加工向けとして利用される。

生食用果実の収穫機械は、実験段階であり、りんご、甘果おうとう、もも、ベリー類で試験が行われてきたが実用化には至っていない^{83, 84)}。生果用のロボット収穫技術は、米国果樹産業の長期的な持続可能性を左右する決定的に重要な技術と考えられ、積極的に研究が行われている。

ワシントン州立大学はロボット収穫機械研究の世界的なセンターの一つである。ここでは、州立大学精密・自動化農業システムセンター (CPAAS) で行われているりんご生食用果実の収穫機械研究を紹介する (CPAAS の詳細は、現地調査報告参照)。

(1) りんご収穫ロボット

収穫ロボットに必要とされる基本的な要件は以下のとおりである⁸⁵⁾。

- 1) 収穫果実の検出、位置決め
- 2) 果実の採取とコンテナへの収納を無傷で実行
- 3) 気象条件、光条件に影響されない
- 4) 異なる樹形、品種、大きさ・果形・色でも適用可能
- 5) 十分な費用対効果 (低コストで丈夫) を持つ単純な構造

試作収穫ロボットは、検出部、マニピュレータ、エンドエフェクタ (果実の把持採取を行うハンド部分) からなり、市販の電動運搬車に積載して使用する^{83, 85)}。屋外では光条件が異なり果実画像の露出を適正化するため、露出時間を変えて撮影した5画像から、適正な画像部位を抜き出し合成する手法 (exposure fusion) が用いられている。試験ではV-トレリス樹形で84%の果実を傷なく1果6.0秒で収穫できる。果実収穫に失敗した理由は、果実検知エラー、着脱不可、障害物の影響で把持不可等であり、多くは果実が枝やトレリスワイヤーに近接した場合である。コストは15,000ドル以下 (電動運搬車を除く) である。

また、シドニー大学においても、ロボットハンド・エンドエフェクター方式のりんご収穫ロボットを開発中である。



りんご収穫ロボットのプロトタイプ

(2) りんごの振動収穫機

現在、州立大学で研究している振動収穫は、主幹や樹全体を振動させるのではなく、枝を振動させる方式である^{86,87)}。合わせて、衝撃を緩和するトレイの構造・クッション資材、樹形・品種間差について研究を行っている。試作機械では、振動アームの操作は人が行っているが、将来的には自動化を目指している。

試験では、品種によっても異なるが、おおよそ10果のうち9果は本方式で収穫でき、果実への傷は、手収穫(3~6%)に比べ劣るが、10%以内である⁸⁸⁾。

品種によって適応性が異なり、ふじ、Jazz、PinkLadyは収穫効率・品質も良好である。Galaは、枝先に着果する傾向があり、落果しにくく、振動時間が長いと傷がつきやすくトレイでキャッチしにくい(コズミッククリスプも同様)。平面的な樹形が適する。

州果樹研究委員会のメンバーを長く務めるDave Allanは、本方式には限界があるものの、諦めるべきではないとしている⁸⁸⁾。担当のKarkee教授も、ある品種には本方式が適用され、一方、本方式で落下しにくい高品質品種には、吸引式やロボットハンド方式が適用されるとしている。



りんご振動収穫機械のプロトタイプ

トレイの間に見えるのが振動アーム

(3) 民間での開発状況

FFRobotics (イスラエル)、Abundant Robotics (米国) の2社が、果実収穫ロボットの開発を進めている^{89,90,91)}。FFRobotics社はロボットハンド・エンドエフェクターの方式であり、Abundant Robotics社は吸引式である。

2017年時点で、2018年秋のりんご収穫に間に合うように市販化されるのではないかと観測もなされたが、2019年2月現在市販化されていない。ワシントン州果樹協会年次大会・北西部園芸展でも、関連する発表・展示は行われなかった。当初、北西部展示会のホームページは収穫ロボットの写真が示されていたが、途中から、収穫果実に変更された経緯がある。

FFRoboticsは、2019年2月にベルリンで開催されたFruit Logistica 2019で、収穫ロボットのデモ映像を公開した(同社ウェブサイトで閲覧可能)^{92,93)}。計12のロボットハンドで果実を採取し、ベルトコンベヤを通じて、回転するビンに収納する構造である。価格は、30万から35万ドルで、2019年に商品化予定である。

2. 手収穫+小型吸引式収納

ロボット収穫では、果実採取とともに、採取した果実をビンにどのような収納するかも大きな課題である。これまで紹介したロボット収穫機は、果実採取の自動化に比べ、採取した果実のビンへの収納については十分な検討がなされていないと考えられる。

ロボット収穫機ではないが、現在、最も進んだ収穫支援機械を紹介する。写真はワシントン州果樹協会年次大会・北西部園芸展でも注目された、DBR Conveyor Concepts社の収穫果実のビン収納システムをAutomated Ag Systems社の高所作業台車に搭載した収穫支援機械である⁹⁴⁾。DBR Conveyor Concepts社の従来型収穫支援機械は長く大型でほとんど利用されていないため、市販の高所作業台車に積載可能となるよう小型化したものである。



小型のビン収納システムを積載した高所作業台車

作業員は高所作業台車に乗り収穫バッグの代わりに吸引チューブの先端（写真の青色部分）を装着する。果実を収穫し、青色の吸入口に入ると自動的にビンまで配送される。ビンの手前の回転式ビンフィルターと緩衝材で、果実をやさしく収納する。さらに、果実がビンの中に収納されるにつれ、ビンフィルターを上を移動させるのではなくビンの位置を自動で下げるようにして、スムーズな収納を可能にしている。

プロトタイプ機での試験がいくつかの生産者圃場で行われおり、その一例を紹介する⁹⁴⁾。4人の収穫作業員で本方式と高所作業台車を比較すると、収穫ビン数は2倍（6時間で18ビン）であり傷害は2%減少する（傷がつきやすい品種であるSweetangoで調査）という。また、収穫袋を使うのに比べ、作業員への負担は大幅に軽減される。本方式の課題は、ビンへの均一収納と騒音低減であり、2019年秋の市販を目指している。高所作業台車は6万3千から6万8千ドルであり、ビン収納システム装置は3万5千から4万ドルになるだろうという⁹⁵⁾。

3. りんごロボット収穫機の実用化・市販化の見通しについて

ロボット収穫機の市販時期や普及する上での障害について、りんご生産者、研究者、普及担当者等を対象にアンケート調査が行われている（表11, 12）。

質問は以下の3つである。

- 問1. 機械収穫機が商品化され国内生産者が利用できるようになるのはいつか
- 問2. 機械収穫機について、コストの他に広く普及する上での最大の障害は何か
- 問3. 20年後（2038年）の果樹園の機械化はどこまで進展しているか

回答結果をまとめると以下のようになる。

問1. ロボット収穫機の商品化については、早くて2019年であり、数年以内に市販化され、本格的に国内生産者に普及するのは5年程度という意見が多い。

問2. ロボット収穫機の普及の障害については、ロボット収穫に適する樹形の普及、機械の故障対応である。その他、傾斜地での安定性、ビン収納速度についての指摘もある。

問3. 果樹園の機械化については、20年後には収穫、せん定等ほとんどの作業が自動化され、作業員は機械の作業動作をモニターすることになる。

現地調査で訪問したアランブラザーズのDave Allanによると、ロボット収穫機について収穫速度とビンへの収納時の傷の発生が問題となる。収穫速度は、1果につき1〜2秒が望ましく、3秒ではやや遅いと

している。市販化は、4、5年後ではないかとの意見であった。

Zahniser ら (2018)⁹⁷⁾によると、機械化がさらに進むと、果樹産業は新しい機械を操作するのに特別に訓練された労働者が必要になり、アメリカに比べて人口当たりの工学系の卒業生が多いメキシコからこうした労働者を受け入れることになる可能性を指摘している。

表 11 機械収穫機の商品化時期と普及上の障害についてのアンケート調査回答

回答者	機械収穫機が商品化され国内生産者が利用できるようになるのはいつか	コストの他に、広く普及する上での最大の障害は何か
Scott McDougall (McDougall & Son社の共同オーナー) ワシントン州2016年りんご生産者賞受賞	5年以内に収穫機械が現実なものとなり生産者が商業ベースで利用できることを期待する。	果樹の樹冠管理が不十分なこと。2次元の平面的樹形にすることが収穫機の効率最大化に必要。
James Schupp (ペンシルバニア州立大学、果樹教授)	すべての生産者が利用できることはなく、ある樹形限定、ある機械はより柔軟に使用となるかもしれない。りんご用機械は5～10年かかると思う。	A) 機械収穫に適合する樹形。適する樹形を植えるのに時間がかかる（適する樹形は、実際配備される収穫技術に依存する）。 B) オーチャードシステム、新技術を開発・適応・指導・実演する応用科学者・普及教育者の不足。 C) 資本。果樹産業はすでに資本集約的で、以前にも増して樹園の一新、高額機械投資が必要。
Amy Irish-Brown (ミシガン州立大学、果樹普及教育者)	2年前には、在職中にりんご収穫機械を見ることはないと思った。現在3社が試験中であり、少なくとも1社が商品化（多分12か月後）できるのではないかな。	機械を効率的に使う樹形（壁面的2D樹形）にすること、技術革新のスピードが速いこと（最初の収穫機械がすぐに陳腐化）
Gad Kober (FFRobotics社、共同設立者)	我が社のロボット収穫機が2019年中頃までに生産者に利用されると信じている。	
Byron Phillips (Valent USA社、作物専門家)	Abundant Robotics社、FFRobotics社のロボット収穫機が2年後（2020年収穫）に利用可能になると思う。	オーチャードシステムと園の傾斜。2D樹形が理想だが、多くの園は3D樹形ですぐには転換できない。傾斜地での安定性が確かでなく、当初は平地での使用に限定。
Scott Jacky (Valley Fruit社の果樹園運営責任者)	Abundant Robotics社の目標は2018年秋までに商用化に耐えられる機械にすることだった。その目標は変わったことは聞いていないが、機械の組立・製作に数年かかるので、2021-22年になるのではないかな。	樹形が最大の障害。その他、個人的には収穫時期の機械の故障が心配。
Rod Farrow (Lamont Fruit Farm, Fish Creek Orchards社の共同オーナー) ワシントン州2017年りんご生産者賞受賞	2018年にはロボットプロトタイプ商用機が動いていることを希望する。現実的には、完全自動化の収穫機がロボット好適樹形の果実の90%を収穫できるようになるには2、3年かかる。	複雑なハード・ソフトを園地で連続稼働する技術が必要。当初は機械の故障リスクがある（故障が長引くと予備人員、代替機が必要？）。
Tom Auvil (North American Plants社の苗木栽培担当)、元州果樹研究委員会委員	Abundant Robotics社のなんらかの装置が2019、2020年に販売され利用される。	ロボット収穫に適する樹形管理。果実へのアクセスが収穫速度に影響するが、ビン収納速度にも関係し、高速で250g以上果実のビン収納ができるメーカーは1社のみ。
James McFerson (ワシントン州立大学研究・普及センター所長)	2018年中に限られた数の商用機が州内でりんご収穫することを期待する。しかし、ロボット収穫に適する樹形で機械が果実に到達しやすく、機械収穫に熱心な生産者に限られる。ワシントン州で本格的に稼働するのは2023年になるだろう。	ロボット収穫に適する園にしていこう。生産者の能力（労働力管理、収穫機械の適正配置、故障期間の最小化）。

出所：Growing Produce (2018)⁹⁶⁾より作成

表 12 2038 年の果樹園機械化の進展についてのアンケート調査回答

回答者	20年後（2038年）の果樹園の機械化はどこまで進展しているか
Scott McDougall (McDougall & Son社の共同オーナー) ワシントン州2016年りんご生産者賞受賞	果樹園の風景は劇的に変化。ロボット収穫や技術革新は驚異の速度で進む。自動化を通して、人力依存の減少。
James Schupp (ペンシルバニア州立大学、果樹教授)	落葉果樹園は、20年でさらに自動化される。せん定・収穫のかかなりの部分が機械化。手収穫の果実はプレミアム商品になっても驚かない。
Amy Irish-Brown (ミシガン州立大学、果樹普及教育者)	この20年を振り返ると、現在の技術・機械の進展を取り入れたことからすると、これからの20年はさらなる自動化がもたらされる。
Gad Kober (FFRobotics社、共同設立者)	2038年までに収穫の多くは、先端的なロボット技術、解析技術、クラウドサービスで行われる。
Byron Phillips (Valent USA社、作物専門家)	高度に機械化が進む。新植は機械化を考えて、平地、長い樹列、2D樹形となり、収穫、せん定、着果管理・摘果は機械化される。
Scott Jacky (Valley Fruit社の果樹園運営責任者)	2038年には、果樹園は完全自動化されなければならない。完全の意味は、せん定、摘花・摘果、誘引、収穫である。
Rod Farrow (Lamont Fruit Farm, Fish Creek Orchards社の共同オーナー) ワシントン州2017年りんご生産者賞受賞	2030年以前に完全自動化されているかもしれない（べきである？）。2018年植栽の一部園は自動化に適さないまま生産されているかもしれないが、早期の自動化目標のためには機械化樹形への変更が必要。
Tom Auvil (North American Plants社の苗木栽培担当)、元州果樹研究委員会委員	多くの作業が自律自動化し、作業員は装置やセンサーをモニターし動作の検証を行う（自律走行トラクター、センサー灌水制御、灌水同時施肥、ヘッジングせん定、機械による太枝のせん定、機械結束による新梢誘引、機械収穫、自動トラップによる病虫害管理）
James McFerson (ワシントン州立大学研究・普及センター所長)	アグリテインメント（農業ツーリズム、農業関係のエンターテインメント）や人口が多い地区に隣接したニッチの観光果樹園を除けば、ワシントン州を含む太平洋岸北西地域は、20年で完全に機械化される。熟練のオペレーターは必要。

出所：Growing Produce（2018）⁹⁶⁾より作成

将来的には現在の収穫補助作業台車は収穫ロボットに取って代わられると考えられる。しかし、収穫補助作業台車のメーカーで収穫ロボットの開発状況を心配しているところは少ない⁹⁸⁾。その理由は、収穫ロボットで果実を樹から採取できても道半ばであり、その後のビン収納・選果場への輸送、樹形の適切な管理も課題となるためである。

ある収穫補助作業台車のメーカーによると、ロボット技術が10年ほどで現場に入るかどうか疑わしいが、高所作業台車技術は、短期間で改良することができる。収穫ロボットの価格はどうなるかわからないが、高所作業台車であれば改良による経費は短期間で回収が可能であろうとしている。

引用・参考文献

81. Huffman, W.E. (2010). The status of labor-saving mechanization in fruits and vegetables.

- <https://migrationfiles.ucdavis.edu/uploads/cf/files/2010-may/huffman-the-status-of-labor-saving-mechanization.pdf>
82. Huffman, W. E. (2012). The status of labor-saving mechanization in US fruit and vegetable harvesting. *Choices*, 27(2), 1-7.
 83. Karkee, M. et. al. (2017). Mechanical Harvest and In-field Handling of Tree Fruit Crops. In: Zang, Q. (ed.). *Automation in Tree Fruit Production: Principles and Practice* (pp. 179-233), CAB International
 84. Peterson, D. (2005). Harvest Mechanization for Deciduous Tree Fruits and Brambles. *HortTechnology*, 2(1), 85-88.
 85. Silwal, A. et.al. (2017). Design, integration, and field evaluation of a robotic apple harvester. *Journal of Field Robotics*, 34(6), 1140-1159.
 86. He, L. et. al. (2017). Evaluation of a localized shake-and-catch harvesting system for fresh market apples. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(4).36-44.
 87. Karkee, M. et. al. Shake and catch harvesting for fresh market apples.
<http://cpaas.wsu.edu/shake-and-catch-harvesting-for-fresh-market-apples/>
 88. Courtney, R. (2018). Shaking it up in the orchard. *Good Fruit Grower*. Aug 14, 2018
 89. Dininny, S. & Mullinax, T. J. (2016). Creators of vacuum harvester aim to have machines ready in 2018. *Good Fruit Grower*. Nov 3, 2016
 90. Dininny, S. (2017). The latest on FF Robotics' machine harvester. *Good Fruit Grower*. Apr 10, 2017
 91. Tibbets, H. J. (2018). Not too far from the tree. *Mechanical Engineering*, 140(2), 28-33.
 92. Karst, T. (2019). Robot apple picker close to commercialization. *Packer*, Feb. 11, 2019.
 93. FFRobotics. <https://www.ffrobotics.com/> (2019.2.13 閲覧)
 94. Courtney, R. (2018). Prototype picker: Apple vacuum system tested. *Good Fruit Grower*. Dec 18, 2018
 95. Wheat, D. (2018). Next steps in automated apple picking. *Capital Press*, 2018 Aug. 3.
 96. Growing Produce. (2018). Change is coming to the fruit industry: Mechanization is taking shape.
<https://www.growingproduce.com/fruits/change-coming-mechanization-taking-shape/>
 97. Zahniser, S. et al. (2018). Farm Labor Markets in the United States and Mexico Pose Challenges for U.S. Agriculture. USDA.
 98. Courtney, R. (2018). Raising the platform bar. *Good Fruit Grower*. Dec 18, 2018

13. 精密農業と栽培支援

精密農業 (Precision Framing, Precision Agriculture) は、「複雑で多様なばらつきのある農場に対し、事実を記録し、その記録に基づきめ細やかなばらつき管理を行い、収量、品質の向上及び環境負荷低減を総合的に達成しようという農場管理手法である」とされている。また、1) 計測・記録技術、2) 制御技術、3) 解析・計画技術の3つが必要である⁹⁹⁾。

ワシントン州立大学、ミシガン州立大学、コーネル大学 (ニューヨーク州) が連携して、りんご生産者に対して精密農業についてアンケート調査が行われている (表 13)。

精密農業で最重要な課題については、全国的に見ると収穫労力の確保・経費 42%、気象 24%、収穫前労力の確保・経費と市場競争がそれぞれ 8%となっている。ワシントン州では収穫労力の確保・経費 65%であり、続いて収穫前労力の確保・経費と市場競争がそれぞれ 7%、気象 5%の順である。ミシガン州では、気象 41%、収穫量力・経費 26%、市場競争 19%で、気象条件が最大の課題である。ニューヨーク

州では収穫労力の確保・経費と気象がそれぞれ 31%、病虫害 12%の順である。

よく知っている精密農業技術は、土壌マッピングと栄養管理、センサ利用灌水管管理、リモートセンシングによる樹冠マッピングである。

精密農業で最も有益なものについての調査では、ワシントン州では、目標設定灌水プログラム 37%、摘果の有効性向上 23%、樹別リアルタイム栄養管理 19%である。ミシガン州、ニューヨーク州では、摘果効果の向上、リアルタイムの樹別必要度に基づく施肥の回答が多い。

表 13 精密農業でもたらされる利益についてのアンケート調査回答

最重要利益	Nは回答件数			
	ワシントン州 N=43	ミシガン州 N=27	ニューヨーク州 N=49	全体 N=119
摘果効果の向上	23%	56%	35%	35%
リアルタイムの樹別必要度に基づく施肥	19%	30%	24%	24%
休眠期せん定効果の向上	12%	11%	17%	17%
目標設定灌水プログラム	37%	0%	16%	16%
その他	9%	4%	8%	8%

出所：Grantら（2018） 2017 Apple Precision Agricultural Survey ¹⁰⁰⁾より作成

精密農業導入上の懸念は、サービス経費、技術の信頼性・質、技術専門知識の利用可能性等である。精密農業への投資を検討すると回答したのは 67%であり、25%は関係知識がないまたはさらに情報が必要、8%は検討しないと回答している。

先のアンケート調査では、ワシントン州では気象の重要性に対する回答割合が低い、気象データを利用したモデルの活用は活発である。ワシントン州で実際に利用されている精密農業技術の例として、摘花・摘果、灌水管管理、総合的病虫害診断について紹介する。いずれも気象データに基づくモデルであり、AgWeatherNet のデータが利用されている。

AgWeatherNet は、気象データと農業関係の各種モデル・意志決定支援情報を提供するワシントン州立大学が運営するシステムである ^{101,102)}。気象観測ステーションは州内農業地帯の 175 箇所に配置され、気温、相対湿度、露点温度、地温、降水量、風向風速、日射量、葉面濡れを 5 秒ごとに測定し、15 分ごとにデータロガーに収録される。システム管理は州立大学の灌水農業研究普及センターで行われている。提供情報は、気象情報、低温警報、低温積算、有効積算温度、ぶどうの耐凍性、りんご花粉管生長、灌水、各種作物・病虫害モデル情報等である。各種表示が可能で支援ツールとして利用しやすいものとなっている。

ワシントン州のりんご栽培では、摘花・摘果は収穫の次に労力を必要とする作業である。摘花・摘果は、果実肥大増進や品質向上、隔年結果防止、樹勢維持のために重要であり、いずれの品種も早期に適正着果量にするのが原則である。

摘花・摘果に関しては、3つのモデルが利用されている。

1) りんご花粉管伸長モデル (Apple Pollen Tube Growth Model) ^{103, 104, 105)}

りんご花粉管伸長モデルは、バージニア工科大学で開発され摘花剤の散布時期判断に利用されるモデルである。りんごでは中心花由来の果実を残すので、それ以外の花の受粉を阻害する摘花剤が利用され

る。花粉管の伸長と温度との関係、予め測定した花柱長から受精する時刻を判定し、それに基づいて摘花剤を散布する。花粉管伸長は品種や地区により異なることから、州果樹研究委員会はバージニア工科大学に研究資金を提供し 11 年の歳月をかけて、主要品種・地区のモデルを完成し、AgWeatherNet で利用できるようにした¹⁰⁵⁾。

2) リンゴ果実成長モデル (Apple Fruit Growth Model)^{106, 107, 108)}

マサチューセッツ大学の Greene らにより開発されたモデルで、摘果剤散布後に落果する果実は、早期に果実肥大しにくくなることを利用し、最終着果量を予測する。摘果剤散布後の、果そう果実の肥大経過を測定し、目標着果量に達しない場合は、再度摘果剤を散布する。

3) リンゴ炭素収支モデル (Apple carbon balance model)^{106, 107, 108)}

コーネル大学の Lakso らが開発したモデルで、樹体の光合成、呼吸、果実、葉、根、枝幹の生長を評価する。日最高・最低気温、日射量から光合成量と各器官への転流量を計算する。温かい曇天条件では、炭水化物バランスが負となり摘果剤が効きやすいため、散布量を減らすようにする、一方、天気がよく気温が低い日は摘果剤が効きにくい。

ワシントン州では、水資源が限られることから、灌水管理は非常に重要である。

4) 灌水スケジュール管理モバイル版 (Irrigation Scheduler Mobile)¹⁰⁹⁾

ワシントン州立大学で開発された、スマホや PC で利用可能な灌水支援システムである。近隣の気象ステーション、作物、土壌種類を選択すると、気象データを自動収録し、土壌水分、基準蒸発散量を計算する。土壌水分実測データにより補正する機能を有し、今後 1 週間の作物の消費水量、土壌水分の予測値を図示することができる。このシステムにより、灌水のタイミングと量を決定でき、水資源の有効利用、収量増・品質向上、省力化、養分流亡抑制が可能になる

病害虫管理と精密農業技術

侵入病害虫の発生増加、食の安全・環境影響への消費者の関心、各種規制等から、果樹生産においても精密農業技術の重要性は増加している¹¹⁰⁾。ここでは、病害虫管理のための意志決定支援と精密な病虫害管理技術を紹介する。

ワシントン州立大学決定支援システム (WSU-DAS)¹¹¹⁾

ワシントン州立大学決定支援システムは、果樹生産者と病害虫管理者に対するインターネットを使った総合的病害虫管理 (IPM) 決定支援システムであり、使いやすい病害虫管理計画と病虫害ごとの最適管理計画を提供する。DAS は AgWeatherNet の日データと、NOAA の予測データを収集し、病虫害の発生動向 (phenology) を予測する。現在および予測された病虫害の状態は、有機栽培、通常栽培の農薬管理情報とリンクし、どのような管理がよいかが提示される。主要な病虫害の他にも、貯蔵果実のやけ症状、開花ステージ等について情報提供されている。

ワシントン州においても、農薬散布はスプレーヤで行われている。しかし、散布に時間がかかり適期防除が困難な場合があること、作業者の農薬被爆、農薬ドリフトやターゲットをはずした散布、農機による土壌圧縮、土壌や地形によっては乗り入れ困難等の課題がある。スプレーヤの散布量や散布方向の精密化についても試験が行われているが、ここでは、新しい散布技術である SSCDS を紹介する。

SSCDS は、りんごやぶどう等の高密植樹形に配置された灌水チューブに多数のマイクロスプレーヤを設置し、農薬散布を行う

システムである。SSCDS は先に紹介したスプレーヤの課題を解決できると考えられる。現在、好適マイクロスプレーヤの形状と配置法や SS との効果比較試験等が行われている。

SSCDS の課題として、現状では資材、タンク、ポンプ、コンプレッサー等の全体価格がスプレーヤより高いこと、将来的に自動果樹園を目指すためには、機械によるせん定や収穫の障害にならないことも重要となる。



SSCDS の試験状況（精密・自動化農業システムセンター）

日焼け果防止

果実の日焼けは、ワシントン州では不良果により商品化率を下げる最大要因である ^{114, 115, 116)}。年によっては、不良果の半分以上が日焼け果による場合もある。りんごの日焼けは、高温と強日射により発生し、おおよその目安として 35℃ が限界温度とされている ¹¹⁷⁾。年次別に日最高気温が 35℃ 以上の日数を調べると、2000 年から 2011 年に比べ、2012 年以降発生頻度が増加している（図 37）。また、最近の普及が進む高密植栽培や平面的樹形は樹冠がコンパクトであり果実に日が当たりやすいことから、日焼け果の問題がより深刻になっていることも指摘されている。

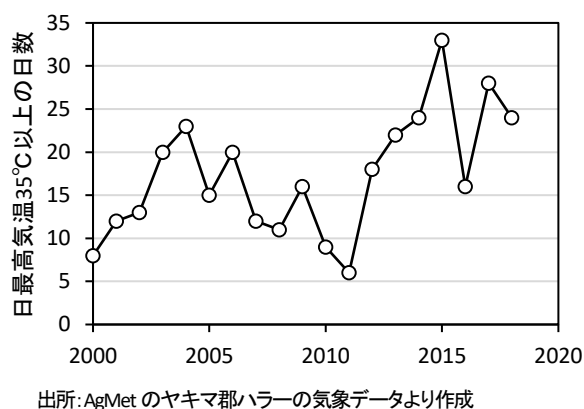


図 37 ワシントン州ヤキマにおける日最高気温が 35℃ 以上となる日数

対策として、樹上散水・気化冷却、ネット被覆、日焼け防止剤散布がある。その中で、最近、世界的に注目されているのがネット被覆である¹¹⁷⁾。ワシントン州は強日射であることから遮光が樹全体の光合成には有利に働くという指摘もあり、土壌水分保持、防雹、防鳥効果も期待できる（年次大会参照）。このようなことから先進的な生産者にはかなり普及しているようである。



平面的樹形のりんご園と冬季に収納されたネット

引用・参考文献

99. 農林水産技術会議. 日本型精密農業を目指した技術開発.
100. Grant, K. et. Al. (2018). Report on the 2017 Apple Precision Agriculture Survey. Washington State University, IMPACT Center.
101. Hoogenboom, G. (2013). AgWeatherNet. A Tool for Making Decisions Based on Weather. Washington State University.
102. WSU-AgWeatherNet. Washington State University.
<http://treefruit.wsu.edu/tools-resources/wsu-agweathernet/>
103. Yoder, K. et. al. (2012). Using a pollen tube growth model to improve apple bloom thinning for organic production. In *II International Organic Fruit Symposium 1001* (pp. 207-214).
104. Peck, G. M. et. al. (2015). Precision apple flower thinning using organically approved chemicals. In *International Symposium on Innovation in Integrated and Organic Horticulture (INNOHORT) 1137* (pp. 47-52).
105. Courtney, R. (2018). Researchers finish final pollen tube model. *Good Fruit Grower*. Mar 29, 2018
106. Robinson, T. et. al.. (2013). Precision crop load management. *New York Fruit Quarterly*, 21(2), 3-9.
107. Lakso, A. N. & Goffinet, M. C. (2017). Advancing understanding apple fruit development. In: Evans, K. (ed.) *Achieving sustainable cultivation of apples* (pp. 85-133). Burleigh Dodds Science Publishing.
108. Crop fruit management. WSU Tree Fruit. <http://treefruit.wsu.edu/web-article/crop-load-management/>
109. Peters, R. T. et. al. Simplified Irrigation Scheduling on a Smart Phone or Web Browser.
110. Lav Khot, et.al. (2017) . Precision technologies for pest and disease management. In: Zang, Q. (ed.). *Automation in Tree Fruit Production: Principles and Practice* (pp. 179-233), CAB International.
111. WSU Decision Aid System (DAS). <http://treefruit.wsu.edu/tools-resources/wsu-decision-aid-system-das/>
112. Grieshop, M. et. al. (2014).
https://www.canr.msu.edu/uploads/236/35087/October_2014/Clarksville_-_Solid-Set_Canopy_Delivery_System.ms.PDF

113. <http://shaponline.org/wp-content/uploads/2016/02/Solid-set-systems-as-a-novel-method-of-delivering-chemical-inputs-in-apple.pdf>
114. Blakey, R. (2017). Sunburn Management in Apples.
<http://treefruit.wsu.edu/article/sunburn-management-in-apples/>
115. Schmidt, T. (2018). Apple Sunburn 101. <http://treefruit.wsu.edu/article/apple-sunburn-101/>
116. Schrader, L. E. (2011). Scientific basis of a unique formulation for reducing sunburn of fruits. *HortScience*, 46(1), 6-11.
117. Dininny, S. (2018). Net benefits. *Good Fruit Grower*, 2018 Apr. 18.

14. ワシントン州立大学の果樹研究・普及、州のりんご関連団体

1) ワシントン州立大学

ワシントン州立大学 (Washington state university) には農業関係の学部として、農業・人間・天然資源科学部 (College of Agricultural, Human, and Natural Resource Sciences, CAHNRS) がある。農業・人間・天然資源科学部は、州立大学が獲得する競争的資金全体の 40%以上を占める。競争的資金 (2015 年) は 8,100 万ドルであり、その割合は連邦政府 63% (研究 52%、普及 11%)、州組織・民間等 37% (研究 18%、普及 19%) である。

同学部には、4 つの農業関係の研究センターがあり、果樹関係研究の大部分は、果樹研究・普及センター (ウェナッチェ)、灌漑農業研究・普及センター (プロッサー) で行われている。

果樹研究・普及センターは、ウェナッチェの生産者団体が 1921 年に果樹試験場設置の運動を開始し、1936 年に州果樹園芸協会が研究圃場の購入に関する州法通過を陳情する委員会を設立する等の活動により設置が決まった経緯がある。研究分野には、育種、果樹生理、果樹園管理、IPM、ポストハーベスト、経営等がある。

灌漑農業研究・普及センターの研究分野は農業工学、作物・土壌科学、昆虫学・IPM、食品衛生、園芸、植物育種、植物病理、ぶどう学である。

学部の競争的資金からわかるように、普及が重要視されている。その理由として、州の代表的作目には、生産者・業者を代表とする委員会 (例、州果樹研究委員会、州果樹委員会、ワイン委員会、ブルーベリー委員会等) があり、研究とともに普及を重要視して資金提供していることが関係している。

州立大学の果樹関係センターのウェブサイトは、新規情報、普及資料も充実しており生産者に適切に情報が伝わるように運用されている。また、州果樹委員会が発行する普及誌 Good Fruit Grower にも最新成果が掲載される。

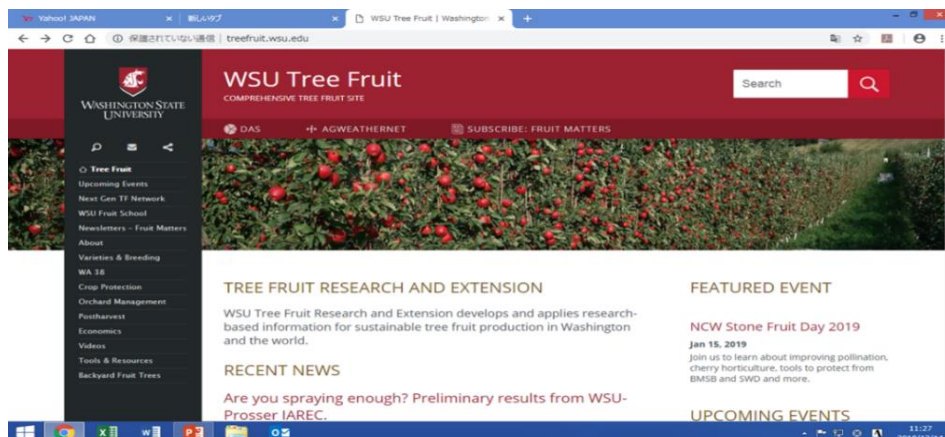


図 38 ワシントン州州立大学の果樹関係ホームページ

州立大学の普及センターでは、農業者の減少と農業人口の高齢化に対応するため、農業初心者に対する128の英語、多言語プログラムを実施している（2013～2015年の参加者3,1203人）。果樹関係では、2016年に普及センターと若手生産者の協力で、次世代果樹ネットワーク（Next Generation Fruit Tree Network）という新しいプロジェクトが始まった。これは、若手の次世代生産者・圃場管理者・作業員向けの講習会・圃場ツアーを行う取組みである。通常の圃場ツアーでは、ベテラン・専門家の参加が多く、経験の浅い若手は恐れ多くて質問もできないことが多い。しかし、次世代果樹ネットワークでは、若手に役立つプログラムが立案され、自由に質問できる雰囲気作りも重要視されている。そのため、教育効果が高く情報交換・共有もしやすく、リーダー育成にも役立つものと期待されている。

2) 果樹寄付基金諮問委員会

果樹寄付基金諮問委員会（Tree Fruit Endowment Advisory Committee）は、州立大学に提供する果樹産業からの基金（3,200万ドル）について、適正に運用されているか、支援分野が適正か、果樹産業の発展に貢献しているか等について助言と監視を行う。委員（7名）は、州の果樹関係4団体により任命され、すべて果樹生産者である。

2013年ワシントン州果樹生産者は、州立大学を世界トップスリーに入る果樹研究機関にするべく、3,200万ドルの寄付基金拠出を決定した。州立大学国際動物保険学科へのBill Gatesによる2,500万ドルとPaul Allenによる2,600万ドルの寄付を上回る州立大学史上最高額である。

基金は、新たな研究・普及ポスト（寄付基金教授）、ウェナツチェ、プロッサーの研究圃場・最先端研究・事業を支援するのに使われている。基金は、生産樹種ごとに1トン当たり1ドル（りんご・西洋なし・オウトウを除く核果類）と4ドル（オウトウ）を拠出し、2019年に3,200万ドルに到達する見込みである。

寄付基金教授としては、Stefano Musacchi 教授（2013年から、果樹生理、オーチャードシステムの世界的権威、前ボローニャ大学（イタリア））、Carolina Torres 教授（2019年から、ポストハーベストシステム、前タルカ大学（チリ））を招聘し、さらに土壌・根圏の専門家を探索中である。

また、情報・技術移転としてKaren Lewis 教授（州立大学普及チーム長、研究者とも連携し積極的に活動、基金額が最も多い部門）、研究圃場、施設としてFaith Critzer 教授（食品衛生）、Tobin Northfield 教授（昆虫IPM研究室の改善）にも資金提供されている。

寄付金は果樹産業を発展させることにより、その分配金による永続的な支援をめざしている。そのため、支援受領者は貢献を具体的数値・金額から厳しく評価される。この仕組みは、果樹生産者と研究者・普及担当者との密接な連携につながり、州果樹産業の発展に寄与している。

3) ワシントン州果樹研究委員会

ワシントン州果樹研究委員会（Washington Tree Fruit Research Commission）は、果樹関連の研究や事業活動を支援することを目的として1969年に州法で設立された。活動基金は、州内果樹生産者の生産量に基づき、樹種別に設定され、近年は約400万ドルである。全体的な目的は、州内果樹生産者の収益増進、研究成果の現場適用、研究者と産業界の継続的連携、他業界団体との交流、次世代の人材育成である（マーケティング活動や広告目的は除く）。委員会は9名で構成され、委員はアクティブな果樹生産者または果樹生産に関心の高い人である（3名は州果樹委員会、5名は州りんご委員会から指名され、1名は州農務長官により指名され、西洋なし産業を代表する）。

2018年のりんご関係の研究課題は38件であり、州立大学や農務省等の研究者に配分されている（例、品種育成、台木評価、CA貯蔵後のやけ防止、水管理による果実の大きさとビターピット調整、日焼けの

リスク評価、選果施設でのリステリア管理、スプレーヤのドリフトモデル、火傷病管理の高度化)。これらの成果は、州園芸協会年次大会でも、発表される。

りんご収穫ロボット開発には、ワシントン州果樹研究委員会が大きな役割を果たしている。Abundant Robotics 社は、2016 年に SRI International からスピノフして設立されたベンチャー企業であるが、収穫ロボットの基礎研究は SRI International 時代から州果樹研究委員会からの予算を得て開始している。その成果を受けて、設立されたともいえる。

Abundant Robotics 以外にも技術(自動化)関連で、甘果おうとうの機械収穫(Peterson, 2005)、Vision Robotics 社の果樹用のスカウトロボット(果実の位置、大きさ、数を検知するロボット)・収穫ロボットハンド、州立大学精密・自動化農業システムセンターのロボット収穫の基礎研究(Karkee 教授)、自律走行式ビン運搬車(Qin Zang 教授)等がある。Vision Robotics 社は、現在のぶどうのせん定機械(Intelligent Autonomous Grapevine Pruner、樹形検知・せん定鋏によるせん定を自動自律で行う)を開発している。

省力機械・技術への資金提供については、高所作業台車、ビンフィラー、DBR 収穫支援機械の評価、果樹園雇用労働者の需要・供給予測、機械受粉(花粉懸濁液を静電噴霧スプレーで散布)、機械摘花の評価、りんご等の機械せん定の評価等がある。

4) ワシントン州園芸協会

ワシントン州園芸協会(Washington State Horticultural Association)は、りんご、西洋なし、おうとうの生産、選果・貯蔵、流通関係の組織・個人を会員とし、教育プログラム、大会、統計資料を通じて果樹産業の価値を高めることを目的とする組織である。ワシントン州園芸協会年次大会を主催する(詳細は、現地調査報告参照)。

5) ワシントン州りんご委員会

ワシントン州りんご委員会(Washington Apple Commission)は、国際市場において革新的なマーケティングと販売促進による消費拡大を通して、ワシントン州のりんご産業に貢献することを目的とする委員会である。以前は国内での販売促進が主目的であったが、現在は国内での販売促進は行っていない。その理由は以下のとおりである。マッシュルーム委員会で生産者からの負担金を委員会として一括して宣伝活動するのは、差別化販売(例、有機、高品質)をしようとする生産者の不利益になることから裁判となり、最高裁で義務的負担金を支払う必要はないとの判決が出た。この判決の影響は大きく、組織を維持するために2003年に国内販売促進を行わないことを決定した。これにより、箱当たり負担金は25セントから3.5セントに変更になり、2,150万ドル(2002/2003年度)あった予算は大幅に減少した。

ワシントン州は、高品質果実の生産は可能であるが、国内大消費地からは遠いため輸送費が余分にかかる。そのため、1937年にワシントン州りんご委員会が設立され、雑誌(Life, Good Housekeeping等)、新聞(全面広告)、テレビ、ラジオ、店頭、料理コンテスト等で大規模な広告宣伝活動を行い、州のりんご消費拡大に貢献した。デパート等小売店が規模にかかわらず参加可能な店頭での販売促進・展示コンテストの最高賞品には、車(1965サンダーバード)の場合もあった。現地調査報告のヤキマ歴史博物館にもワシントン州りんご委員会の活動の一部が紹介されている。

6) 北西部園芸評議会

北西部園芸評議会(Northwest Horticultural Council)は、アイダホ、オレゴン、ワシントン各州の落葉果樹について食品安全から国際市場アクセスまでの課題について代表する組織である。

7) ワシントン州果樹委員会

ワシントン州果樹委員会 (Washington State Fruit Commission) は、核果類の販売促進、市場拡大、研究・教育を目的とする組織である。落葉果樹の普及誌である Good Fruit Grower を発行している。Good Fruit Grower には、スペイン語版のウェブサイトもある (Musacchi 教授のせん定指導の動画も視聴可能)。

8) ワシントンりんご教育財団

ワシントンりんご教育財団 (Washington Apple Education Foundation) は、りんご等生産者、関連団体からの寄付金を、地域の果樹産業関連で働く生産者・労働者の子供に対する奨学金提供、農場労働者家族に対する教育支援を行う学校等の支援等を行う。応募者は、りんご、おうとう、なし生産者、選果場等に働く労働者の子供 (大学・専門学校生) であり、奨学金総額は 100 万ドル以上に達する。奨学生に対して州園芸協会大会年次大会や生産者・関連業者へのツアーへの参加支援も行っている。

*果樹寄付基金諮問委員会、ワシントン州果樹研究委員会、ワシントン州園芸協会には、生産者代表の委員が多く研究に対する理解もあることから、現場に役立つ研究が行われているのが特徴である。しかし、こうした生産者代表は、大規模生産者・パッカーであり、小規模生産者の声は通りにくいことも考えられる。ワシントン州りんご委員会が国内の販売消費宣伝を行わないことは、大規模生産者・パッカーに比べ、小規模な生産者・パッカーには影響が大きいと考えられる。

引用・参考文献

118. WSU Tree Fruit Research & Extension Center. Washington State University.
<http://www.tfrec.wsu.edu/about.php>
119. Tree Fruit and Research Extension. Washington State University. <http://treefruit.wsu.edu/>
120. Next Generation Tree Fruit Network. WSU Tree Fruit.
<http://treefruit.wsu.edu/next-generation-tree-fruit-network/>
121. Tree Fruit Endowment Advisory Committee. WSU Tree Fruit. <http://treefruit.wsu.edu/eac/>
122. 2018 Impact Report. Tree Fruit Endowment Advisory Committee. WSU.
123. Washington Tree Fruit Research Commission. <http://treefruitresearch.com/>

II ワシントン州におけるりんご産業・自動化研究等の現地実態調査

1. 日程

りんごについて自動化・省力化が最も進んでいると考えられるワシントン州において、州果樹協会の年次大会に参加し園芸展を視察するとともに、ワシントン州立大学精密農業・自動化農業システムセンターを訪問し果樹の自動化・省力化の現状と将来方向について討議した。また、りんご生産者・パッカーの選果施設、現地圃場を訪問し、最新の選果ラインを見学するとともに、省力樹形の状況を調査した。スケジュールは以下のとおりである。

表 14 現地調査の日程

月 日	旅程・調査地点
12月2日	成田発 → シアトル → ヤキマ着
12月3日 ～5日	ワシントン州果樹協会年次大会・北西部園芸展参加 (会場：ヤキマコンベンションセンター、サンドーム)
12月6日	ワシントン州立大学精密・自動化農業システムセンター（プロッサー）
12月7日	アランプラザーズフルーツの選果場・現地圃場（ナチェス）
12月8日 ～9日	ヤキマ発 → シアトル → 成田着

2. 果樹協会年次大会・北西部園芸展

(1) 果樹協会年次大会

ワシントン州果樹協会は、りんご、西洋なし、おうとうの生産、選果・貯蔵、流通関係の組織・個人等を会員とする組織で、そのミッションは教育プログラム、大会、統計資料を通じて、生産者、パッカーが市場機会の計画立案を可能とし、政府政策による市場不安定に対処するため州の政務に関与することにより、果樹産業のすべての部門の価値を高めることであるとしている。

ワシントン州果樹協会年次大会・北西部園芸展（WSTFA 114th Annual Meeting & NW Hort Expo）は、毎年12月上旬にワシントン州の果樹産地、ヤキマ郡ヤキマ、ベントン郡ケニウイック、シェラン郡ウェナッチェの3箇所持ち回りで開かれている。本年度はヤキマで、果樹協会年次大会はヤキマコンベンションセンターで、北西部園芸展はヤキマバレーサンドームを主会場に一部はヤキマコンベンションセンターでも開催された。



大会会場、ヤキマコンベンションセンター



会場内の様子

果樹協会年次大会は、果樹の教育的集会としては米国最大で、州内果樹産業の最新トレンドや注目の話題について議論する場である。果樹協会では、各種研修プログラムを行っているが、年次大会は最も重要な行事と位置づけられている。年次大会のテーマとトピックスは、生産者、州立大学研究・普及センター、州果樹研究委員会、州農業局、メーカー代表者からなる企画委員会（本年は17名）で議論されて決定される。本年のテーマは、“Manage what you can control, plan for what you can’t control”（コントロールできることは管理し、コントロールできないことはプランを立てる）であり、主要なトピックスは、火傷病、ビターピット、効率的な樹形、樹勢管理、収穫後損傷管理、病虫害管理、新品種 WA38（商品名コズミッククリスプ）である（表8）。

本大会プログラムの特徴として、スペイン語セッション、研究ニュース速報のセッションがあることである。スペイン語セッションでは、主要なトピックスの多くはスペイン語でも発表・討議が行われる。また、研究ニュース速報では、若手研究者、博士課程の学生により、研究の進行状況を発表するセッションが設けられている。

表 15 ワシントン州果樹協会年次大会日程

月 日	セッション		
12月3日	午前 コントロールできることは管理し、コントロールできないことはプランを立てる 午後 競争力のある果樹園システム		
12月4日	午前 火傷病 午後 商品化率向上に向けた最適管理	午前：スペイン語セッション（1） 午後：スペイン語セッション（2）	研究ニュース速報 （ポストハーベスト、普及、環境ストレス生理、果樹生理、植物病害安全性、新農業技術、育種、土壌・台木相互作用、虫害管理、花粉・受粉）
12月5日	午前 病虫害管理	午前：樹勢管理	
	午後 WA38(コズミッククリスプ)		

12月3日の午前のセッション（コントロールできることは管理し、コントロールできないことはプランを立てる）では、ワシントン州果樹研究委員会の代表交代、州立大学農業・人間・天然資源科学部の

将来と果樹産業、米国りんご協会の最新状況、州果樹協会の産業支援の新しい取組、国際市場の展望、価値最大化のための産業調整、りんご小売り段階でのトレンド、基調講演（ハーバード大学 Mansharamani 講師）等が行われた。

以下に、年次大会の中での発表をいくつか紹介する（内容の一部は、Good Fruit Grower 誌の大会特集号等を参照した）。

12月3日の午後のセッションでは、コーネル大学の Sazo 教授による、3D 樹形をせん定・ヘッジング・接ぎ木により 2D 樹形に移行する技術、ワシントン州立大学 Kalcsits 教授による気候資源を利用した高品質果実生産等が発表された。ワシントン州の果樹地帯は日射が多く雨が少なく、多すぎる日射をネット被覆することにより日焼け防止、光合成向上が期待でき、灌水制御により最適な水管理も可能であるという。

12月4日午前の火傷病のセッションでは、雨が多く火傷病の脅威が大きい米国東部から2名の植物病理学者を招いて発表・討議が行われた。コーネル大学の Cox 教授は、機械摘花やヘッジングが火傷病のリスクを高めるかどうかについて発表し、高感受性品種や、同一区画に火傷病樹がある高リスク条件でも、摘花やヘッジング後の抗生物質処理で、リスクを最少化できる見込みであることを報告した。ペンシルバニア大学の Peter 教授は、植物防御物質エリシターについての最新の知見を発表し、エリシター Actiguard の効果について、温室条件では78～95%コントロールできるが、処理のタイミングによって効果が異なるとした。最後のパネルディスカッションでは、火傷病を除くたった一つの確実な方法は、被害樹を切りとることだとされた。

12月4日の午後のセッションでは、2019年に新しいりんご損傷ガイドが公開されることが発表された。現在のガイドはカード型の印刷物であるが、最新版はスマホやパソコンで操作することができ、最も包括的で多種類の障害について、最高の画像、最高のユーザーインターフェイスで操作・確認できるガイドになるという。会場では、スマホで見ることでできるデモ版画像が紹介され、画像を回転しながら果実障害を確認することができた（写真）。

12月5日の午前病虫害管理のセッションでは、WSU-DAS（IPMのための意思決定支援システム）の責任者である Jones 教授より、プログラミングの改良と使いやすいユーザーインターフェイスの新しくなった WSU-DAS について発表された。現在利用できるモデルは、虫害11、病害4、園芸9であるが、リンゴワタムシ、フタホシナシキジラミ等の虫害モデル、ふじ、ハニークリズプ等の果実肥大や開花モデルも1、2年以内に追加されるという（写真）。園芸展でも、改良版の WSU-DAS のポスター展示があった。



大会会場で発表された新しいりんご損傷ガイドのサンプル映像



WSU-DAS のモデル開発についての発表

コドリリングについては、ワシントン州立大学の Beers 教授による不妊虫をドローンで散布する試験の映像（スターウォーズのテーマ曲付き）や BASF 社の Londono 博士による線虫がコドリリングの幼虫を攻撃しエサとする拡大映像等が紹介され、会場が大いに沸いた。

樹勢管理のセッションでは、ワシントン州立大学の Kalcsits 教授が、ハニークリスピのビターピットを水管理による樹勢調整で抑制するための実験を紹介した。

12月5日のコズミッククリスピのセッションでは、植栽見込み（2020年までに1200万本）、出荷見込み（6年後に2,000万箱）、マーケティング戦略、研究・普及の状況が紹介された。マーケティングについては、育成元の州立大学はPVM社（Proprietary Variety Management）と契約し、5年間で1,050万ドルをかけて、新品種の認知向上と消費者宣伝を行うという。この経費は、特許使用料と果実販売からの基金から拠出される。

コズミッククリスピに関する研究・普及計画について州立大学研究・普及センターの普及チーム長である Lewis 教授より、果樹園システム、消費者が好む果実品質、収穫適期（デンプン指標）、高接ぎ、マルチリーダー仕立て（複数の主幹を垂直に立てる仕立て）、ビターピット、グリーンスポット（果皮の部分的着色不良）、樹体一水、肥料関係、機械ヘッジング、せん定方針等が挙げられた。台木については、North American Plants 社の Auvil 氏より、現在、どの台木がベストかは明らかでなくいろいろな台木を試すことが望ましく、台木だけでなく栽植密度、灌水、施肥も同様に重要であることが紹介された。

研究ニュース速報のセッションでは、精密・自動化農業システムセンターの博士課程学生より、りんごの振動収穫機や SSCDS（Solid set canopy delivery system）の発表があった。

ワシントン州果樹協会は、2014年に州園芸協会（Washington State Horticultural Association）、州生産者情報協会（Washington Growers Clearing House Association）、ヤキマバレー生産出荷協会（Yakima Valley Growers-Shippers Association）、ウェナッチェバレー輸送協会（Wenatchee Valley Traffic Association）の4団体が統合して設立された。前身の州園芸協会は100年以上の歴史があり、それを引き継いだ果樹協会年次大会も今年で114回を数える。州園芸協会の111年前の第3回大会プロシーディング（全体で184ページ）を見ると、期間は現在と同じ3日間で、すべての発表・討議が記録されている。すでにこの時代に、こうした伝統が作られていたことは驚くばかりである。

大会では、果樹協会や果樹産業に対する貢献者の表彰も行われた。そのなかには、Latino Leadership Award もあり、メキシコ出身の Molina 氏に贈られた。この賞は、果樹産業で働くラテン系の人、またはラテン系コミュニティに貢献した人を対象に贈られるものである。Molina 氏は農場労働者、チームリーダー等を経て、現在は大規模生産者の果樹園マネージャーであり労働者の労働安全衛生教育やH-2A労働者の雇用調整を担当している。

最初にスペイン語セッションの立ち上げを提案したのは、州立大学果樹研究・普及センターの普及チーム長である Lewis 教授（父親はラテン系）であり、初代の Latino Leadership Award 受賞者でもある。以前は、言葉の問題でラテン系の果樹園労働者に安全教育や日々の作業をどのように指導してよいか苦労していた。そのような状況から、1993 年に年次大会に付属する形でスペイン語による最初の労働者教育セッションが行われ、1994 年からは年次大会の正式セッションとなり 600 人が詰めかけ会場をいっぱいにしたという。本年もその状況に変わりはなく、ラテン系の人々は州の果樹産業発展の大きな原動力になっていると考えられる。



スペイン語セッション会場

年次大会ではスプレーヤが当たるくじ引き（Sprayer Raffle）も行われた。これは、ワシントンりんご教育財団が防除機のメーカーである Rears Manufacturing 社から寄付されたスプレーヤを賞品として、大会でくじを販売し、その売り上げが財団に入る仕組みである。財団はりんご等生産者、関連団体からの寄付金を、地域の果樹産業関連で働く生産者・労働者の子供に対する奨学金提供、農場労働者家族に対する教育支援を行う学校等支援等を行っている。本年の当選者は、若手生産者（女性）である。過去の当選者には、果樹園を持たず寄付を目的にくじを購入した人が、当選を機会に果樹園を購入したり、パッカーが出荷してくれる生産者のためにくじを大量に購入した場合もある。このくじ引き（本年は 24 回目）は、大会の盛り上げに役立つだけでなく、奨学生支援や生産者支援につながる面白い取組である。

州果樹協会年次大会は、単に年次総会的な事務報告の場でなく、生産者が最新情勢、研究・技術情報を学ぶ場と考えられる。生産者は、主体的に研究資金を拠出し、研究者・普及担当者と交流し、知識を得ていることから、技術レベル・研究に対する理解も非常に高いと考えられる。研究者も、出資者、研究成果の使用者としての生産者への貢献を意識して研究・普及活動を行っていることがうかがえる。このような、生産者、研究者・普及担当者の関係が、ワシントン州のりんご産業の発展の原動力になっていると考えられる。

（2）北西部園芸展

北西部園芸展は、州果実協会年次大会と同時開催され、215 の出展団体の参加があった。業種は果樹関係農業機械（トラクター、高所作業台車、防除機械等）、選果装置システム、農薬、施設、資材（灌水、棚、被覆等）、小農具、気象機器、簡易測定器、苗木、州農業局等である。変わったところでは、鳥害防止用のタカ（本物）の展示もあった。一部機械（ヘッジング用トラクター、摘花機、防除機）については、I 10. りんご生産の機械化全般を参照。



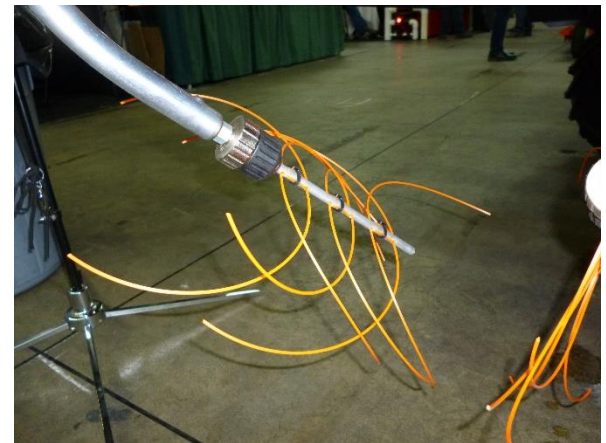
北西部園芸展の会場（ヤキマサンドーム）



加工用ブドウ収穫機



ヘッジング用トラクター



携帯型バッテリー式の摘花機



静電噴霧型の防除機



収穫用の高所作業台車



おとう用の予冷装置



反射フィルム敷設用アタッチメント



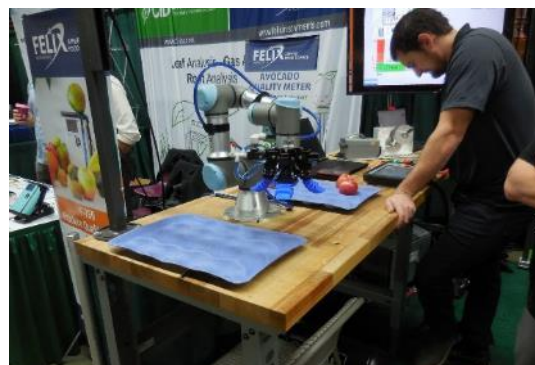
苗木業者ブース



防霜用ウィンドマシーン



園内を走行して画像を取得し、その画像から着果量計測や収量予測するシステム



汎用的なロボットハンドを利用した技術



ネット資材と簡便な展帳器具



レーザー利用の防鳥システム

3. ワシントン州立大学精密・自動化農業システムセンター

①精密・自動化農業研究センターの概要

精密・自動化農業システムセンター (Center for Precision & Automated Agricultural Systems, CPAAS (シーパス)) は、灌漑農業研究・普及センター (Irrigated Agriculture Research and Extension Center, IAREC) の内部センターである。IAREC は、ワシントン州立大学大学農業・人間・天然資源科学部最大の研究・普及センターで、ヤキマ郡プロッサーにあり設立は1919年である。IAREC はコロンビア川流域、ヤキマバレー地域の灌水農業作物が対象であり、研究分野は農業工学、作物・土壌科学、昆虫学・IPM、食品衛生、園芸、植物育種、植物病理、ブドウ学である。

IAREC には、CPAAS 以外のセンターとして、AgWeatherNet、クリーン植物センター北西地域 (Clean Plant Center NorthWest, CPCNW) がある。

CPAAS の自動化・精密農業関係の主要メンバーは、センター長の Qin Zhang 教授 (自動化農業の権威)、Manoj Karkee 教授 (収穫ロボット、AI, IoT)、Lav Khot 教授 (精密農業) の3名である。この他に、併任や理事会メンバーとして土壌科学や普及担当の教授が含まれる。

Qin Zhang 教授は、Automation Tree Fruit Production (CABI, 2018 年) の編著者であり、Manoj Karkee 教授は、Connected World (AI, IoT 関係のネット週間ニュースレター誌) で2018年11月に AI, IoT の予言者の1人に選出されている (11 Professors Prophecies For AI and IoT)。選出理由は、センシング、IoT、AI、パラレル・コンピューティング、ロボット技術を使い、圃場作業の自動化技術の開発である。

2018年10月には、CPAAS はオーストラリアのシドニー工科大学 (University of Technology Sydney) と農業ロボットの分野で共同センターを設立することを発表した。シドニー工科大学の人工知能、ロボット技術と CPAAS の自動化・精密農業技術を組み合わせて、収穫ロボット、効率的センサー駆動灌水、作物センシングドローンの研究・開発を加速化させるという。

CPAAS のミッションは以下のとおりである。

我々は農業自動化の分野において世界的に傑出した、ワシントン州に関連した研究および教育プログラムの開発にむけて努力する

我々のミッションは、以下の場を提供することである

◇我々の出資者であるワシントン農業界に貢献する高いインパクトの研究

◇州立大学および世界と真に学際的な連携

◇学生に対する高いレベルの教育と研究機会

◇起業家的雰囲気の中で新たな発想の醸成と発達

さらに、具体的期間目標（2017-2022）は以下のとおりである。

*毎年5以上の学際的な研究提案を行い少なくとも8万ドルの研究資金を得る

*農業自動化・精密農業に関する専門書の編集・出版

*少なくとも1回の国際学術大会の開催・主催

*1回の技術EXPOを開催し、一般の方、技術利用者、生産者に成果を発信

*3～5の商品化可能な研究プロトタイプ開発

主な研究分野

土壌・植物の遠隔・近接センシング

着果量評価、リアルタイムの収量モニタリングとトラッキング

未来の農業を実現する作物生産のためのワイヤレスセンサーネットワークとIoATs(Internet of Agricultural Things)

作物管理の意思決定支援ツール

地上と無人航空機(UAV)による列植え作物、畑作物の迅速表現形把握

ドローンの新規農業応用

精密スマート灌水システム

農薬・肥料の新規施用システム

自動化/ロボット病害虫管理(野菜の雑草管理含む)

自動化/ロボット果実収穫

果樹、ベリー類の自動せん定・誘引システム

果樹の摘花摘果自動化

精密自動作業に関連した園芸と社会経済的研究

②果樹農業の自動化省力化についての討議

CPAAS側の参加者は、Lav Khot教授、支援研究員1名、博士課程学生3名である。最初にCPAASの最近の主な成果の紹介があり、その後、日本のりんご生産の特徴(岩波)、日本の果樹栽培機械化の現状(大西)、省力生産のための自動化と作業機械のロボット化(草場)の発表が行われ、最後に討議が行われた。

CPASS Outline and Research Activities (Santoshi Bhusal)

Characteristics of Apple Production in Japan (岩波 宏)

Current Situation of Fruit Growing Mechanization in Japan (大西 正洋)

Automation and Robotization of working machines for labor-saving fruit production
(草場 新之助)

事前に、提出してあった質問(りんご収穫ロボット、果実生産の自動化機械化、りんご栽培について計36問)については、内容が幅広いこともあり、後日、文書で回答していただくこととした。

③CPAAS の研究圃場と施設・機械の見学

討議の前に、研究圃場と施設・機械の見学を行った。ここで掲載した収穫ロボット、ビン運搬機械、ドローンの詳細は、I 10. りんご生産の機械化全般、12. 機械収穫、ロボット収穫を参照。



玄関に飾られた職員が編集・執筆した精密自動化関係の専門書



センター前での記念撮影（支援研究員、博士課程学生とともに）



収穫ロボットのプロトタイプ



振動式収穫機械



精密農業のための各種ドローン



収穫用ビンを自動運搬する機械



5列同時に作業可能な大型台車（移動が困難なため実用化ならず）



センターの研究用果樹園（りんご）



V字樹形のりんご樹



バイアクシスのりんご樹



マルチリーダー樹形のおうとう樹



V字樹形のおうとう樹

4. アランブラザーズ

アランブラザーズ (Allan Brothers Inc.) は、ヤキマ郡北部ナチェスにある、果樹生産、選果出荷を行う会社である。果樹園はヤキマバレー周辺を中心にワシントン州東部全域で、りんご、おうとうを栽培し総面積は約1,600haである。

アランブラザーズの始まりは、約100年前に始まり、現在のオーナーは3代目であり、指導的役割は4代目に移っている。ワシントン州の果樹生産者は、多くはファミリービジネスと言われるが、日本の家族経営とは規模が全く異なるビッグビジネスである。

American Fruit Growers 誌と Western Fruit Grower 誌は、1989年より Apple Grower of the Year (りんご生産者賞) を、また、Good Fruit Growers 誌は1997年より Good Fruit Growers of the Year (果樹生産者賞) を選定している。アランブラザーズの、3代目の Dave と George の Allan 兄弟は、1998年に Apple Grower of the Year、2000年に Good Fruit Growers of the Year を受賞している。このように、アランブラザーズはワシントン州だけでなく全米屈指のりんご生産者である。また、2018年に世界最大級最新鋭の選果施設をナチェスに建設 (一部工事中) したばかりである。

販売・宣伝については、Rainier Fruit (ワシントン州の大規模生産者・パッカー)、Oppenheimer Group (青果物流通業者、本社カナダ) の販売チームに委託している。また、T&G (世界的青果物生産流通業者、本社ニュージーランド) と連携し、ENZA ブランドのりんご生産、また同ブランドのクラブ制品種、Jazz、Pacific Rose、Envy のパッキングを行っている。

Good Fruit Grower 誌は2017年8月に、「アランブラザーズ、イノベーションを前進させる (Allan Bros. paces innovation)」という記事を掲載し、米国果樹産業界において技術志向で革新的な会社であることを紹介している。その最近の例として、機械収穫のフロントランナー (Abundant Robotics 社) への実験協力がある。Dave Allan は、Abundant Robotics の設立者の1人で開発責任者である Curt Salisbury とは同社設立 (2016年) 以前の2012年から仕事をしている。また、同社のCEOである Dan Steere によると、アランブラザーズはロボット収穫に関する研究開発に対して最初から励まし、評価、アドバイス、試験圃場の提供をしてくれたという。その他、市販の3列同時苗木植え付け機を自社で改良し1日に72,000本植栽可能にした機械、ドローンメーカーと協力して園のストレス状態の把握、州立大学と協力してオウトウの選果ラインでのアラビアゴム (過度の給水防止) とエアナイフ (急速乾燥) の利用試験等を行っていることが紹介されている。これらはアラン家の伝統「好奇心」から来るものであり、研究開発スタッフ (4人) を雇用しているからこそである。州立大学の普及チーム長である Karen Lewis によると公的研究機関が提供するより前に研究投資して答えを見つけるという。

アランブラザーズのミッションは以下のとおりである。

戦略的な投資を重点的に行う調和のある成長計画を実行しながら、わが社、わが生産者、提携する協力企業に最大の収益をもたらすことである。われわれの成功は、買い手の期待に応える、あるいは期待を上回るサービスを提供しながら、われわれが消費者の望む果実を供給できるかどうかで判断される。われわれが行うすべてのことは、このミッションを反映したものであり、さらに、誠実さ、品位、従業員に対する敬意をもってミッションを遂行する価値を反映したものである。

最初に選果場を見学し、その後、ヤキマバレーを丘から臨むりんご園場に案内していただき、2D樹形の誘引やせん定について、実演を交えてご指導していただいた (選果については、7. 流通・選果・貯蔵も参照)。



アランプラザーズの選果場、手前は西洋なし樹



Dave Allan 氏と検討委員



ビン入り果実を選果ラインに



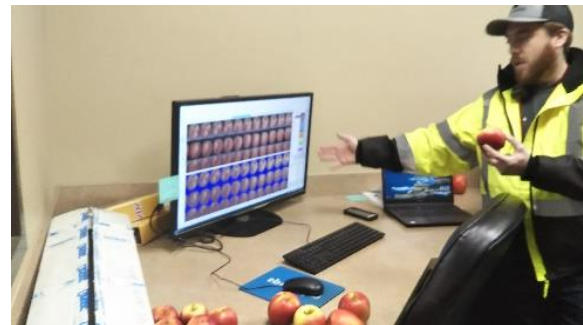
水流を利用した果実搬送



高圧洗浄



果実品質計測装置



果実品質のモニタリング



選果された果実



ワックス処理



果実へのラベリング



果実の最終確認、箱詰め



果実の外観、ラベル等確認



箱詰めされた果実



抜き取り検査（糖度）



州の常駐検査官による出荷前検査



各種品種表示の出荷箱



統一ブランドの出荷箱



少量パッケージ用の容器



出荷用大型トラック



ヤキマバレーを臨むりんご園場



りんごV字樹形のせん定指導



各種りんご樹形 (Vートレリス、バーティカルトレリス、Y字、標準)

5. その他

(1) ヤキマバレー博物館

ヤキマバレー博物館は（Yakima Valley Museum）はヤキマの歴史、文化等各種展示を行う博物館である。日系人に関する展示も数多くあるが、ここでは、りんご栽培の歴史的展示を簡単に紹介する。

1926年に全国りんごの日（National Apple Day）が制定されたが、ヤキマ商工会議所は1日では不十分として、全国りんご週間（National Apple Week）の宣言を行った。その週にヤキマに停まる全列車は、乗客に振る舞うアップルサイダーのピッチャーを持ったキャンプファイヤーガールズの出迎えを受けた。乗客は、1,000 ガロン（3,785 リットル）のアップルサイダーを飲み、全国りんご週間制定に貢献した。



1926 年全国りんご週間

列車には、「全国りんご週間、りんごをもっと食べよう」の表示



りんご収穫労働者と収穫用布製バッグ

1946年ワシントン州りんご委員会（Washington State Apple Commission）は、常勤の研究部を置くために、州立大学の Earl Carlson 教授を雇用した。こうした研究は、傷果を減らし、果実の取扱・選果の改善に貢献した。



ワシントン州りんご委員会のポスター

左：果実は落とすな、置け。傷は損傷につながる
中：落下した果実は区分けしろ
右：腰を曲げろ、**Jack**。収穫バッグ果実の乱暴な取り扱い
は傷につながる



りんごの宣伝用ラベル

1960年代まで使われた出荷木箱用

(2) ジョンソンオーチャーズ

ヤキマ郡は、多数の観光果樹園、ワイナリーがある。ジョンソンオーチャーズ (Jonson Orchards) は、ヤキマの小規模生産者、観光果樹園でりんご、オウトウ、もも、アンズ、ネクタリン、西洋なし等、多様な果樹を栽培・販売している。クッキー、マフィン、パイ等も販売し、12月、1月を除いてほぼ年間営業している。ジョンソン家の祖先はスウェーデン出身で1904年にヤキマに定住し24haの灌漑農地を購入し、りんごの栽培を始めた。1916年には果実とパンの売り場を設置した。



売店の様子



りんご売り場



西洋なしの売り場



おうとう圃場、防霜ヒータが設置されている

6. 感想

ワシントン州果樹協会の年次大会では熱気に圧倒された。大学、企業、生産者が一丸となって果樹産業を支えていると感じた。一経営体あたりの栽培面積が100ha以上と大規模であるため、機械化も企業の参入も必然なのだという気がした。ウォールマートに山積みで売っているリンゴの値段は日本のスーパーの値段と同程度か1割くらい安い程度で(品種にもよるが)、その値段が高いとみるか手頃とみるかは、生活スタイルの違いなのであろう。現地の果樹園はすでに落葉して、雪もちらつく寒々しい状態であったが、数人の集団が大声で話をしながら楽しそうに両手持ちの太枝切りはさみで軽快に西洋なしを剪定していた。アランプラザーズのオーナー、デイビッド・アランの人柄の良さに惹かれた。リンゴ園の案内の途中で、突然リンゴのせん定講習もしてくれた。花芽の少ない樹では、実を着け過ぎたかな、などと独り言をつぶやきながら。(岩波 宏)

日本のりんご栽培と米国のりんご栽培を見て思ったことは、違うところは違う、同じところは同じ、ということであった。違うのは、まずサイズ感である。産地の規模、一経営体の栽培面積、一筆のほ場面積、収穫コンテナの大きさなど、日本より遙かに大きい。また、ワシントン州は降水量が少なく日射が多い地域でりんごを栽培していることから、灌漑設備と遮光ネットを用いることが一般的であり、栽培環境を日本以上に制御している。さらに、樹形が平面的な新しい樹形に改植されているりんご園が多い。一方、せん定、誘引、花粉採取用の花取り、収穫作業などは、栽培規模が大きいにもかかわらず、日本と同じように手作業でしっかりと行っているということに驚いた。また、りんご栽培における主要な課題が病害虫、生理障害、樹勢管理、新品種であり、労働力不足から省力化が求められているということも同じであった。果樹栽培の機械技術開発は日本でも米国でもまだまだ必要であり、省力化に向けて人と機械の協調作業や自動化の推進に取り組んでいく必要性を改めて感じた。(大西 正洋)

最高の気象条件、すばらしい組織・人、世界的な人材確保、教育、大会、歴史、ミッション、、、単に先進的な技術・機械だけでないものを見せつけられた感じ。アランプラザーズには、連絡がとれないまま当地に向かったが、州果実協会年次大会会場での突然の見学依頼に対しても、快くお引き受けいただいた。帰国後、りんご生産者賞、果樹生産者賞の受賞者であることを知った。何十年先かわからないが、世界で最初に自動化果樹園が完成するのはワシントン州になることを強く感じる現地調査であった。(朝倉 利員)

III まとめ

1. ワシントン州と日本のりんご栽培の比較

調査対象地であるワシントン州と我が国ではりんごの栽培環境、経営規模が大きく異なっている。したがって、ワシントン州のりんご栽培技術を我が国のりんご栽培に単純に適用することはできないが、一方で、りんごを生産する上で同じ問題を抱えている部分もあり、取り組みが参考になる場合もある。そこで、ワシントン州と我が国のりんご栽培における相違点と類似点を整理してみる。

1) 気象

最も大きく異なるのは降水量である。降水量の少ないワシントン州では、樹の生長が緩やかであるため、初期収量を上げるためには必然的に密植となる。夏期の降水量も極端に少ないため、かん水は必須となり、水資源の有効利用が研究の重要なテーマとなっている。夏期の日射量が多いこともワシントン州の特徴の一つで、果実の日焼けも大きな問題となっている。近年は、我が国の暖地のりんご産地においても日焼け果の発生が問題となっており、ワシントン州で行われている園地全体をネットで被覆する栽培方法を我が国でも取り入れる時代がくるかもしれない。

降水量が少なく乾燥していると病虫害の発生も少ないため、有機栽培に取り組みやすい環境にある。ワシントン州では有機栽培りんごが高値で販売されているため、有機栽培に取り組む生産者も増えている。一方、我が国では、有機栽培りんごは健康意識の高い一部の消費者の需要しかなく、降水量が多く病虫害の発生が多い環境では無農薬での栽培はかなり難しく、我が国で有機栽培が広く普及する見込みは今のところない。

2) 経営規模

ワシントン州のりんご生産者の経営規模は我が国と比べて圧倒的に大きい。ワシントン州の半数の生産者の栽培面積は2ha（5エーカー）未満であるが（図26）、ワシントン州のりんごの栽培面積の半分近くが、200ha（500エーカー）以上の栽培面積の生産者で占められている（図27）。一方、我が国は、栽培面積が1ha未満の生産者が3/4を占めており、国内のりんご栽培面積のうち、5ha以上の栽培面積の生産者が占める割合は5%程度である（農林業センサス2015）。経営規模が大きいことは、それだけ設備投資へ向けられる資金も多くなる。一方、雇用労働者なくして経営は成り立たず、労働力不足および雇用労賃の上昇は切実な問題となっている。したがって、ワシントン州ではりんご栽培の機械化・自動化への期待は大きく、大型で高額な機械の導入も可能と考えられる。

3) 樹形

降水量の少ないワシントン州の樹は、枝の伸びも短く、樹冠が狭いため、栽培管理作業は非常にやりやすい。枝が張り出さないため樹列は垣根状となり、その樹列に果実が張り付くように結実する。単純な樹形で作業がしやすく着果部位が面状であることは、機械化には理想的な樹形である。一方、降水量の多い我が国では、海外で実績のあるわい性台木を使っても樹勢は強くなり、樹はコンパクトにならない。りんご栽培の省力化、機械化を実現するためには、まず、樹勢のコントロールおよび3次元樹形から2次元樹形への改造が必要で、解決すべき問題が多い。

4) 生産性

ワシントン州のりんごの栽培面積は我が国の結果樹面積の約2倍で、単位面積あたりの収量は4～5t/10a（図14）で我が国の約2倍であることから、生産量は我が国の約4倍となっている。我が国のりんご栽培の7割は樹勢の強いマルバカイドウを台木とした疎植栽培であり、我が国でもわい化栽培では単収は4t/10a程度になることから、ワシントン州のりんごの生産能力が必ずしも高いわけではない。一方、市場での出荷価格は、近年は0.9ドル（100円）/kg程度（図15）で、我が国（300円/kg）の1/3

程度である。そこで、粗収益（生産量 x 単価）から経営費を除いた 10a あたりの所得を比べると、ワシントン州で「ふじ」を栽培した場合、所得は 9.4～11.6 万円/10a（Gallinato, S. P. & Gallardo, R. K., 2016）と、我が国の平均の 16.4 万円/10a（平成 28 年営農類型別経営統計）の 6～7 割程度しかない。それでも、栽培面積が広いと、生産者の総所得はかなりの額になると想像できる。

2. ワシントン州のりんご省力・機械化生産技術の日本での適用可能性

ワシントン州で開発・検討されている省力栽培技術を我が国のりんご栽培に適用した場合に想定される利点や問題点を整理してみる。

1) せん定

ワシントン州のりんご樹は SNAP または fruit wall（図 36 参照）と呼ばれる樹形が広がってきているため、ロボットアームによる自動せん定の実現の可能性が最も高いと考えられるが、現時点では自動刈り込み（ヘッジング）装置の利用が検討されている。我が国のりんご樹は樹勢が強いため、刈り込みによって枝が強く反発し樹形が乱れるため利用は難しいと考えるが、ワシントン州のように、樹勢を落ち着かせて樹冠の狭い樹列となる栽培方法が確立すれば、利用できる場面もあるかもしれない。受粉樹の管理もしくは加工用のための省力栽培では利用できる可能性がある。

2) 着果管理

ワシントン州では、人工受粉機、摘花機が実用化されている。

エンジンプローワーで花粉を供給する受粉機は、日本でもスピードスプレーヤーのファンを利用したタイプのものが販売されている。しかし、これらの装置は、園地全体の花粉濃度を上げることで訪花昆虫による受粉の確率が上がることを期待したものであるため、気温が低くハチの飛ばない状況で結実率を上げるのは難しく、また、中心花だけを結実させるための人工授粉方法の代わりとはなり得ない。大量の花粉を必要とすることから、花粉の確保も問題となる。

摘花機として、複数のコードを回転させて花をはじき飛ばす装置が開発されている。花の密度を下げる場合には有効と思われるので、我が国でも、小型の手持ち式摘花機であれば利用の可能性はある。樹体各器官への損傷の影響も含めて検討する価値がある。省力化のために着果部位を限定する（高いところや樹の裏側などには着果させない）栽培方法も検討されており、全摘花するような状況でも使えるであろう。

3) 収穫・選果

我が国と海外の収穫作業で最も異なるのは、収穫した果実を入れる容器が、我が国では 20kg を収納するコンテナを使うのに対し、海外ではビンと言われる 400kg を収納するコンテナを使うことである。ビンは重いので、運搬から選果までは必然的に機械化される。問題は、いかに果実を傷めずに収穫した果実を底の深いビンに入れるかであり、複数人が同時に収穫できるプラットフォームを備えたビンフィラーが、いくつものメーカーで開発されている。海外では、選果場もビンでの搬入を前提に設計されており、収穫後管理の自動化が進んでいる。我が国で収穫支援装置（コンベア式、吸引式）の付いたビンフィラーを導入したとしても、運搬から選果までの一連の作業の中で規格がビン用に統一されていないため、省力化の実現は難しいであろう。

自動収穫機械については、ワシントン州でも実用レベルのものはない。生食用りんごの収穫ロボットが開発された場合は、ワシントン州のように機械導入に向けた条件が揃った地域での先行導入が期待されるため、その動向を注視したい。

3) 精密農業と栽培支援

ワシントン州は、乾燥した土地で夏期の日差しも強いことから、干ばつや日焼け果が発生しやすい厳

しい気象条件であるとも言える。さらに栽培面積も広大であるため、栽培環境のモニタリングやかん水制御、生育予測や作業管理などの栽培支援プログラムは、栽培の効率化には重要であるとともに、経費削減や品質管理に対する効果も大きい。我が国では、生産者一人で自分の園地の環境や作業状況を把握できる規模の経営であるため、コストをかけて栽培を支援するプログラムを導入するメリットがないかもしれない。大規模化した場合に必要な技術である。

以上、ワシントン州のりんご栽培技術で我が国のりんご栽培の参考になる部分を、私見を交えて簡単にまとめた。我が国のりんご生産者の経営規模は小さく、現時点では導入できる技術は多くない。しかし、生産組合のように共同で利用することを前提とすれば、我が国でも、高額な栽培機械や栽培支援プログラムの導入も可能で、りんご生産の大幅な効率化が期待できる。

引用・参考文献

124. Gallinato, S. P. & Gallardo, R. K. (2016). 2014 cost estimates of establishing, producing, and packing Fuji apples in Washington State. Washington State University Extension, TB29.

(岩波 宏)

海外果樹農業情報 刊行物一覧

No.	調査報告書名	発行年月日
81	米国における果実消費動向及び生食用果実流通実態調査報告書	04. 8
82	欧米のくだもの消費事情調査報告書	04. 9
83	オーストラリアにおけるリンゴ及びオウトウの生産・流通事情調査報告書	05. 3
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の生産・流通実態調査報告書ー福建省及び浙江省を中心としてー	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	グローバル化下で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オウトウの生産・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オ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連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に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	世界の主要果樹の生産概況 2018 年版	19. 3
139	海外の果樹産業ニュース 2018 年度下期版	19. 3

