

平成29年度 委託プロジェクト研究  
「国産農産物の多様な品質の非破壊評価技術の開発」  
最終年度報告書

13406021

国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発

研究実施期間	平成25年度～平成29年度（5年間）
代表機関	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 食品研究部門
研究開発責任者	池羽田 晶文
共同研究機関	国立大学法人 大阪大学 工学研究科
	神奈川工科大学 応用バイオ科学部
	立命館大学 理工学部
	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構（食品研究部門、中央農業研究センター、果樹茶業研究部門、野菜花き研究部門）
	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 バイオメディカル研究部門
	オイシックスドット大地株式会社 商品本部
	キッコーマン株式会社 研究開発本部
	青森県産業技術センター りんご研究所 栽培部
	ヒューマン・メタボローム・テクノロジーズ株式会社
研究開発責任者 連絡先	TEL : 029-838-8023 FAX : 029-838-7996 E-mail : ikehata@affrc.go.jp

農林水産省内 本事業担当	農林水産技術会議事務局研究開発官（基礎・基盤、環境）室 代表：03-3502-8111（内線5870）
-----------------	--

様式3. 最終年度報告書

1頁～ 60頁

<様式3. 平成29年度の最終年度報告書>

I-1. 年次計画

研究課題	研究年度					担当研究機関・研究室	
	25	26	27	28	29	機関	研究室
<b>I. 品質評価チーム</b>							
I-1 生食用トマトの品質評価と評価技術の商品開発への応用	← 抗酸化能の異なるトマトの供 →					オイシックスドット ダイチ株式会社	食品本部技術開発チ ーム
I-2 生食用トマトの品種および栽培法の品質への影響評価	← トマトの提供・CEによる主要 呈味成分定量、物性評価 →					農研機構 野菜花 き研究部門	野菜生産システム研 究領域生産工学ユニ ット (岩崎泰永) 野菜病虫害・機能解 析研究領域品質機能 ユニット (安藤)
I-3 加工用トマトの栽培・加工品の調製とその品質評価	← ジュースの分析および提供 →					キッコーマン株式 会社	研究開発本部
I-4 りんごの栽培・保存法の品質への影響評価	← 栽培条件の異なるりんごの貯 蔵・提供および非破壊計測 →					青森県産業技術セ ンター りんご研究 所	栽培部
I-5 りんごの品質・加工適性評価 (H27年度で終了)	← りんごの硬度・プロシアニジ ン測定 →					農研機構 果樹茶業 研究部門	生産・流通研究領域 流通利用・機能性ユ ニット
I-6 トマト・りんごのテクスチャ測定および官能評価	← トマトの官能評価 りんごの官能評価 →					農研機構 食品研究 部門	食品加工流通研究領 域食品品質評価制御 ユニット
I-7 画像統計変数解析によるトマトの品質推定	← 近赤外と画像による計測と解析 →					農研機構 食品研究 部門	食品分析研究領域非 破壊計測ユニット (池羽田) 立命館大学理工学部 (和田) 東京大学農学部 (吉村)
I-8 蛍光指紋によるトマト・りんごの品質推定 (H27年度で終了)	← →					農研機構 食品研究 部門	食品分析研究領域非 破壊計測ユニット
I-9 ESRによるトマト・りんごの包括的抗酸化活性評価 (H27年度で終了)	← →					農研機構 食品研究 部門	食品安全研究領域食 品安全性解析ユニッ ト

II. 一斉分析チーム			
II-1 GC/MSによるトマトの網羅的香気成分解析	← 香気成分とカロテノイドの相 →	神奈川県立産業技術総合研究所	応用バイオ科学部 栄養生命科学科
II-2 GC/MSによるりんごの網羅的香気成分解析	← リンゴ褐変マーカーの探索 →	農研機構 中央農業研究センター	土壌肥料研究領域作物栄養グループ
II-3 GC/MSによるトマト・りんごの網羅的低分子成分解析 (H28年度以降はIII-1へ集約)	← トマトのメタボローム解析 →	大阪大学	工学研究科生命先端工学専攻生物工学コース生物資源工学領域メタボロミクス研究室
II-4 CE/MSによるトマト・りんごの網羅的低分子成分測定による代謝解析	← →	ヒューマン・メタボローム・テクノロジー株式会社	バイオマーカー・分子診断事業部
II-5 LC/MSによるトマト・りんごの成分の網羅的成分解析	← マーカー成分と官能評価や加工適性と関連づけ →	農研機構 食品研究部門	食品安全研究領域食品化学ハザードユニット (中川)
		農研機構 果樹茶業研究部門	生産・流通研究領域流通利用・機能性ユニット (庄司)
II-6 NMRによるトマトの網羅的成分解析	← →	産業技術総合研究所	バイオメディカル研究部門生物時計研究グループ
II-7 NMRによるりんごの網羅的成分解析	← →	農研機構 食品研究部門	食品分析研究領域分析基盤ユニット
III. データマイニングチーム			
III-1 トマトの機器分析データと品質特性データの関連づけ手法の開発	← →	大阪大学	工学研究科生命先端工学専攻生物工学コース生物資源工学領域メタボロミクス研究室
III-2 りんごの機器分析データと品質特性データの関連づけ手法の開発	← →	農研機構 食品研究部門	食品分析研究領域非破壊計測ユニット (蔦)
			食品安全研究領域食品安全性解析ユニット (亀谷)

## I-2. 実施体制

研究項目	担当研究機関・研究室		研究担当者	エフォート (%)
	機関	研究室		
研究開発責任者	農研機構食品研究部門	食品分析研究領域 非破壊計測ユニット	◎池羽田晶文	
<b>I. 品質評価チーム</b>				
I-1 生食用トマトの品質評価と評価技術の商品開発への応用	オイシックス株式会社	食品本部技術開発チーム	○阪下利久	
I-2 生食用トマトの品種および栽培法の品質への影響評価	農研機構 野菜花き研究部門	野菜病虫害・機能解析研究領域品質機能ユニット 野菜生産システム研究領域生産工学ユニット	○安藤 聡 中野明正 (～2016.3) 岩崎泰永 (2016.4～)	
I-3 加工用トマトの栽培・加工品の調製とその品質評価	キッコーマン株式会社	研究開発本部	○小幡明雄	
I-4 りんごの栽培・保存法の品質への影響評価	青森県産業技術センターりんご研究所	栽培部	○葛西 智	
I-6 トマト・りんごのテクスチャ測定および官能評価	農研機構食品研究部門	食品加工流通研究領域食品品質評価制御ユニット	○早川文代	
I-7 近赤外光法及び画像統計変数解析による農作物の非破壊品質推定技術の開発	農研機構食品研究部門 東京大学 立命館大学	食品分析研究領域非破壊計測ユニット 農学部 理工学部	○池羽田晶文 吉村正俊 和田有史	
<b>II. 一斉分析チーム</b>				
II-1 GC/MSによるトマトの網羅的香気成分解析	神奈川工科大学	応用バイオ科学部栄養生命科学科	○飯島陽子 岩崎由美	
II-2 GC/MSによるリンゴの網羅的香気成分解析	農研機構 中央農業研究センター	土壌肥料研究領域作物栄養グループ	○田中福代 岡崎圭毅 (2015.4～)	

II-4 CE/MSによるトマト・りんごの網羅的低分子成分測定による代謝解析	ヒューマン・メタボローム・テクノロジー株式会社	研究本部 メタボローム解析事業部	○大橋由明 阿部淳二	
II-5 LC/MSによるトマト・りんごの成分の網羅的成分解析	農研機構 食品研究部門 農研機構 果樹茶業研究部門	食品安全研究領域食品化学ハザードユニット 生産・流通研究領域流通利用・機能性ユニット	○中川博之 庄司俊彦	
II-6 NMRによるトマトの網羅的成分解析	産業技術総合研究所	バイオメディカル研究部門生物時計研究グループ	○根本 直	
II-7 NMRによるりんごの網羅的成分解析	農研機構食品研究部門	食品分析研究領域分析基盤ユニット	○関山恭代	
<b>III. データマイニングチーム</b>				
III-1 トマトの機器分析データと品質特性データの関連づけ手法の開発	大阪大学	工学研究科生命先端工学専攻生物工学コース生物資源工学領域メタボロミクス研究室	○福崎英一郎	
III-2 スペクトル系データと品質特性データの関連づけ手法の開発	農研機構食品研究部門	食品分析研究領域非破壊計測ユニット 食品安全研究領域食品安全性解析ユニット	○葛瑞樹 亀谷宏美	

(注1) 研究開発責任者には◎、小課題責任者には○、実行課題責任者には△を付すこと。

中課題番号	13406021	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	I-1	研究期間	平成25～29年度
中課題名	国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発		
小課題名	生食トマトの品質評価と評価技術の商品開発への応用 (I-1)		
小課題責任者名・研究機関	阪下利久・オイシックスドット大地株式会社		

#### 1) 研究目的

さまざまな生食用国産トマト試料を提供し研究機関で確立した評価技術を商品開発へ応用する。

#### 2) 研究成果

さまざまなトマト試料を各研究機関の求めに応じ定期的に供給できた。

#### 3) 成果活用における留意点

- ・ トマトをはじめとした青果は作柄に影響される上、個体差も大きく難しい面がある。
- ・ しかし、生産と販売の現場では本研究のニーズがあることが確認できた。
- ・ 非破壊研究が統合的に進捗すれば、商品開発へ実装できる。

#### 4) 今後の課題

- ・ 生産および販売現場への普及が課題である。

中課題番号	13406021	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	I-2	研究期間	平成25～29年度
中課題名	国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発		
小課題名	生食用トマトの品種および栽培法の品質への影響評価 (I-2)		
小課題責任者名・研究機関	安藤聡、岩崎泰永・農研機構野菜花き研究部門		

## 1) 研究目的

国産農産物の潜在的品質の評価技術開発には、来歴が明確な農産物試料が標準として必要である。本実行課題では、野菜類の代表として世界的に多様な品種が生産されているトマトを対象とする。品種及び栽培法の異なる生食用トマトをプロジェクトに効率的に供給するとともに、品質に重要な影響を与えと考えられる温湿度などのハウス内環境データ等を収集し、サンプルに付与する。また、本プロジェクトで開発される評価法により、栽培条件が品質に与える影響を評価する。

## 2) 研究成果

### ① トマト果実の供給体制の構築および収量性の評価

来歴が明確な生食用トマト果実をプロジェクト内の分析・評価担当者に効率的に供給するため、複数のトマト品種を栽培し、効率的な生産方法および果実品質に影響を与えるハウス内環境データの収集システムを構築した。構築された生産体制の下、高品質とされる代表的な国内品種および多収性だが品質が低いとされるオランダ品種を中心に、農研機構植物工場つくば実証拠点において同一の養液栽培環境で果実の同時生産をおこなった。

平成25年度は、品種選択および栽培条件の検討を行った後、低段密植栽培によって得た果実の一部を分析・評価の条件検討用として一斉分析・品質評価担当者に供給した。栽培したトマトについて、栽培環境、生産性、および内部品質等の分析をおこなった。栽培環境データがユビキタス環境制御システム (UECS) により確実に記録され、諸環境条件の制御が安定的に行われていることを確認した (図1)。

高品質とされる国内主要品種 (桃太郎ヨーク、スーパー優美) と多収性オランダ品種 (Grace, Rapsodie)、中間的な品質を有する品種 (TTM-076: 後に桃太郎ピースとして品種登録) を一斉分析・品質評価の条件検討用試料として担当者に供給した。これらの品種の果実収量および糖度を図2に示した。その後、分析用品種を長期に渡って安定的に供給するため、新たに4品種 (桃太郎ヨーク、りんか409、富丸ムーチョ、Endeavor) の長期多段養液栽培をおこなった (図3: 写真)。これに、参画普及組織 (オイシックス) において消費者の評価が最も高いとされる高品質品種ぜいたくトマトを加えて、平成26年度より5品種の長期多段養液栽培を開始し、果実を供給できる体制を構築した。本作における果実糖度および収量データを図4に示す。平成27年度からは、本プロジェクトの要請に答え

て、それまでの大玉5品種に加え、オランダ品種（トレモロ）を含む多様なミニトマト（8品種）を同一環境で同時に栽培した。ミニトマトの果実収量調査結果を表1に示す。平成28年度からは、各分析・品質評価の許容数等を鑑み、ミニトマトを5品種に縮小して、合計10品種の長期多段養液栽培をおこなった（図5：写真、図6）。本作型は、7月に播種後、閉鎖型育苗生産システムにて育苗し、8月の第一花房開花期に定植するロックウール培地ハイワイヤー誘引型の長期多段養液栽培であり、我が国の太陽光利用型植物工場において代表的な栽培形態の一つとなっている。本作の収穫期は、9月から翌年6月までの長期にわたる。本作では、11月中旬-12月上旬、1月下旬-2月上旬、4月上旬-下旬の3つの期間に計20回以上の試料供給をおこなった。平成29年度にも同品種・同規模の栽培を実施し、試料提供に備えると共に、栽培環境および収量データの取得を継続しておこなっている。全作を通して、大玉品種・ミニトマト品種の各々において、総果実収量は平均糖度あるいは合計呈味成分含量と逆相関を示す傾向があった（図2, 4, 表1）。収量と糖度がトレードオフの関係にあることが慣行栽培において従来から言われてきたが、同一の養液栽培環境で長期多段栽培された大玉およびミニトマト品種でも同様のトレードオフ関係にあることが改めて確認されたといえる。また、大玉・ミニを問わず、日本品種とオランダ品種を比較すると、日本品種は糖度が高く、オランダ品種は収量性において優れていた。

## ②土耕栽培の検討

広範な栽培条件に対応するため土耕栽培施設を整備した（図7）（H25-26）。土壌水分を連続的に測定する手法をUECSに適用し、データの連続取得および栽培管理への適用を可能とした。本栽培条件において、ぜいたくトマト、桃太郎ヨーク、りんか409、富丸ムーチョ、エンデバーの大玉5品種を用い、有機液肥追肥型の有機栽培をおこなった。果実成分の含有量に関しては、隣接する植物工場における無機養液栽培の傾向と類似しており、日本品種がオランダ品種より高い傾向が観察された。また、有機液肥の追肥により、オランダ2品種について顕著な遊離糖成分の増加が観察された（プロジェクト方針により、本栽培実験は継続せず、試料提供しなかったためデータ省略）。

## ③主要呈味成分の定量分析

全作のトマト試料について、フォトダイオードアレイ検出器を装備したキャピラリー電気泳動（CE）システム（Agilent7100, アジレント社）を用い、間接吸光法により、主要呈味成分（主要有機酸（クエン酸）、主要アミノ酸（グルタミン酸、アスパラギン酸）、主要遊離糖（グルコース、フルクトース、スクロース））の定量分析を行った。生果実から直接、成分抽出する場合は、生果実に等量のエタノールを加えて破碎した破碎液の遠心上清をCEに供した。主要呈味成分含量については、年次を越えて概ね同様な傾向が観察されたため、典型的な事例として平成28年度の結果を示す。良食味で知られるぜいたくトマト等の国内品種と多収性オランダ品種エンデバーを含む大玉トマト5品種（図8上段凡例）およびミニトマト5品種（図8下段凡例）を植物工場つくば実証拠点にて長期多段養液栽培し、2016年10月から2017年6月の間、果実を収穫した。11～12月、1～2月、4月の3期間に収穫された果実を冷蔵便で安濃野菜研究拠点に移送し、荷受け翌日までに成分抽出に供した。キャピラリー電気泳動法により、抽出液中の主要呈味成分を定量した（図8）。同じ収穫期の大玉とミニトマトを比べると、各成分ともミニトマトは大玉トマトのおよそ1.5倍量含有していた。また、大玉、ミニ共に4月収穫分において最も高い還元糖含量が観察された。

収穫期による成分含量の差異には、果実肥大期の日射量が影響しているものと考えられる（図9）。大玉品種に関しては、すべての収穫期において多収品種エンデバーの遊離糖含量が最も低かった。一方、ぜいたくトマトのクエン酸含量がすべての収穫期を通じて最も高かった。ミニトマトに関しては、すべての収穫期においてアイコのクエン酸含量が低く、純あまのグルタミン含量が最も高い傾向が観察された。

生食用トマトの一斉分析用試料として調製、供給された凍結乾燥試料の場合は、粉末試料にメタノール・超純水・クロロホルム混合液（5:2:2の容積比）を加えて25℃で5分間攪拌した後、混合液の半量の超純水を加えて遠心分離し、水層を試料としてCE分析をおこなった。加工用トマト試料（缶詰あるいは瓶詰加工されたトマトジュース）については、遠心上清を適宜希釈してCE分析に供した。凍結乾燥試料および加工用トマトの主要呈味成分含量データは、適宜プロジェクトに提供した（データ省略）。

#### ④物性評価

テクスチャーアナライザー（TA-XT plus、Stable Micro Systems社）を用いて食感に影響することが予想される物理特性の計測手法を検討した。大玉トマトの物性計測は、赤道部の果肉切片に内果皮側から外果皮側へ2 mm径の円柱プランジャーを貫通するときの荷重および変位を計測する手法（図10）が妥当であると考えられた。ミニトマトについては、果実を丸ごと用い、赤道部に上記プランジャーを貫通（図11）させたときの荷重変位曲線を用いて、物理特性を評価可能と考えられた。

図12に大玉トマト果肉切片の貫入試験による典型的な荷重変位曲線を示した。曲線の形状から左端のピーク（内果皮破断）と右側のピーク（外果皮破断）に挟まれた部分の仕事量（図14Bの変数8に相当）が中果皮（果肉に相当）の柔らかさの指標となると考えられた。また、外果皮破断ピークの荷重（図14Bの変数10または11に相当）が外果皮の硬さを反映していると考えられる。大玉トマトの物性計測値の内、22点を変数として主成分分析をおこなったところ、主成分得点のプロットは品種ごとにグループを形成した（図14C）。第1主成分は内果皮あるいは果肉の硬さ、第2主成分は外果皮の硬さとの相関が高い傾向があった。平成28年度（2016-17年）作の収穫期の異なる果実の主成分得点を比較すると、物理特性の品種間差は大きく変動はしないが、CF桃太郎ヨークと富丸ムーチョを除く3品種の品種内のバラつきが大きい傾向がみられた。

図13にミニトマトの貫入試験による典型的な荷重変位曲線を示した。左端のピークが果実外部からの外果皮破断、中心部のピーク群が胎座部破断、右側ピーク群が果実内部からの果皮破断を反映している。右側のピークを詳しく見てみると、図15Bに示したように、23を付した三角部分が内果皮破断仕事量、右端が外果皮破断ピークと考えられる。ミニトマトの物性計測値の内、27点を変数として主成分分析をおこなったところ、主成分得点のプロットは品種ごとにグループを形成した（図15C）。第1主成分は外果皮の硬さ、第2主成分は内果皮あるいは果肉の硬さとの関連が強いと考えられた。平成28年度作の収穫期の異なる果実の主成分得点を比較すると、物理特性の品種間差は収穫期によって大きく変動しないことが分かった。

### 3) 成果活用における留意点

本プロジェクトの生食用トマト分析では、当該小課題（I-2）において同時期に同一栽培環境から採取されたトマト果実を当該小課題以外の品質評価および一斉分析に供給し

た。NMRメタボロミクスによる予備的実験から、一週間程度の収穫期の違いによるトマト果実の品質差は顕著でないことが示唆されている（根本・関山、未発表データ）ものの、当該課題における同時期試料には一週間内外の収穫日の差異がある場合がある。凍結乾燥後に各小課題に分配された試料については、同一果実に由来するものと考えてよい。ただし、トマト果実の水分含量は、品質と密接に関連していると考えられることから、凍結乾燥試料中の成分含量と他の品質評価との相関性を議論する場合には、生鮮重当たりの含量に基づいて行われることが望ましいと考える。

#### 4) 今後の課題

他の小課題とのデータ統合解析の一部については平成30年2月現在も進行中である。早期の成果公表に向けて解析を加速する必要がある。

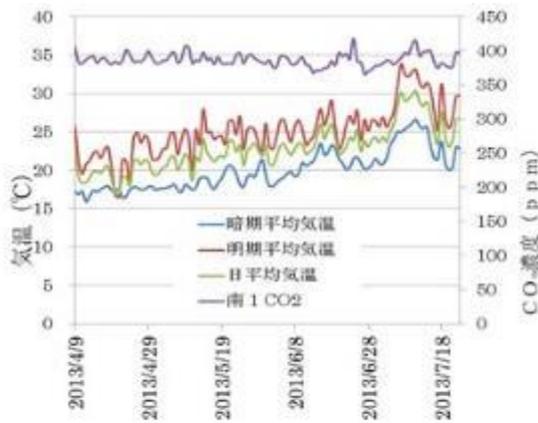


図1 ハウス内環境の測定結果（一部、H25）

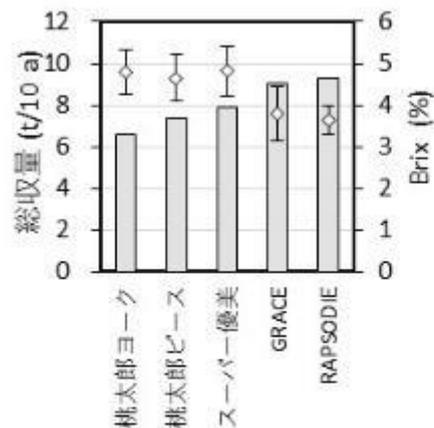


図2 トマト低段密植栽培における果実収量および糖度の品種間差（H25）  
棒グラフ：総収量，菱形シンボル：Brix  
（エラーバーは標準偏差を示す，n=18）



図3 長期多段養液栽培  
（H25年10月25日の状況）

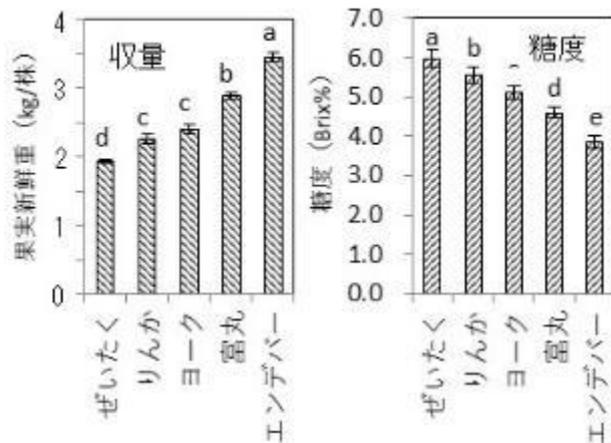


図4 果実収量・果実糖度の品種間差異 (H26)

ぜいたく：ぜいたくトマト，りんか：りんか409，  
 ヨーク：桃太郎ヨーク，富丸：富丸ムーチョ，エンデ  
 パー：エンデパー  
 異なる英文字間に5%水準で有意差あり (Tukey検定，  
 n=10)，バーは標準誤差。

表1 ミニトマト8品種の果実収量調査結果 (H27)

品種	果実数 (個/株)	果実FW (kg/株)	一果重 (g/果)	果実DW (g/株)	果実糖度 (Brix%)	果実乾物率 (g/g)
CFプチぶよ	396 ab <sup>2</sup>	3.4 bc	8.2	9.1 ab	8.8	0.108 ab
千果	372 ab	4.1 ab	11.3	9.0 ab	7.4	0.087 c
サンチェリービューア	357 ab	4.5 ab	12.8	9.9 ab	7.2	0.082 c
キャロル10	415 a	3.1 c	7.6	7.7 b	7.7	0.100 b
小鈴SP	372 ab	3.8 abc	10.2	9.5 ab	7.9	0.098 b
アイゴ	247 c	3.0 c	12.1	7.3 b	7.2	0.085 c
トレモロ	340 abc	5.1 a	15.1	11.8 a	7.2	0.085 c
純あま	305 bc	2.6 c	8.4	7.1 b	8.9	0.115 a

異なる英文字間に5%水準で有意差あり (Tukey検定)



図5 終期に近い長期多段栽培の様子 (H29年6月)



図7 広範な栽培条件に対応するため土耕栽培施設を整備した (H25)  
 土壌水分を連続的に測定する手法をUECSIに適用

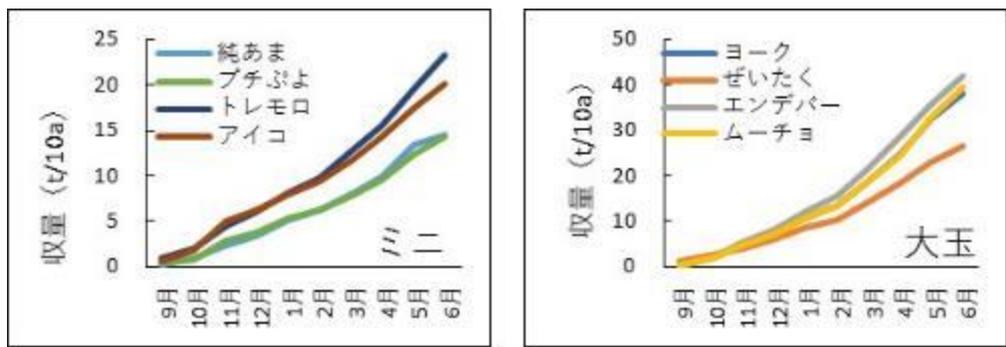


図6 月毎の積算収量 (H28)  
 本作においては、端列に配置した「千果」と「りんか409」は日照条件等が他品種と異なるため、収量計算においては番外とした。

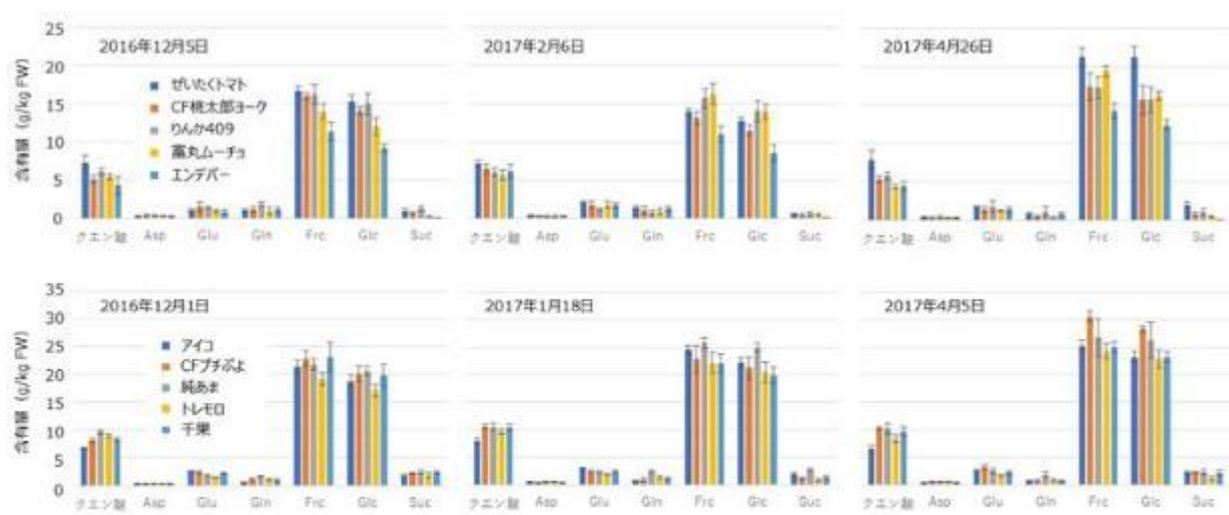


図8 大玉（上段）およびミニトマト（下段）の主要呈味成分含量の推移 (H28)  
 Asp:アスパラギン酸、Glu:グルタミン酸、Gln:グルタミン、Frc:果糖、Glc:ブドウ糖、Suc:ショ糖  
 n=5、エラーバー:標準偏差、各グラフ左上端の日付は成分抽出日  
 大玉トマトは、縮分した1果を1試料とし、ミニトマトは3果分を合わせて1試料とした。

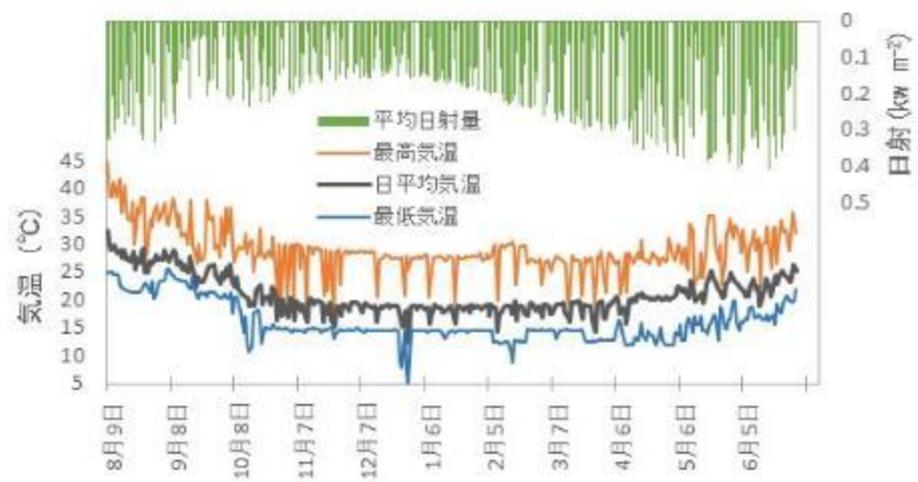


図9 ハウス内温度および日射量の推移 (H28)

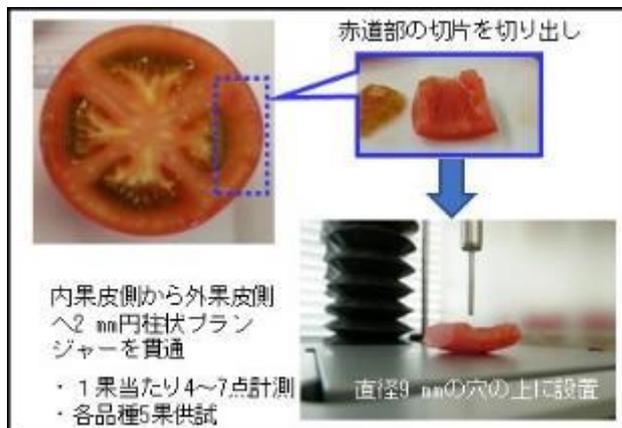


図10 大玉トマトの物性計測方法

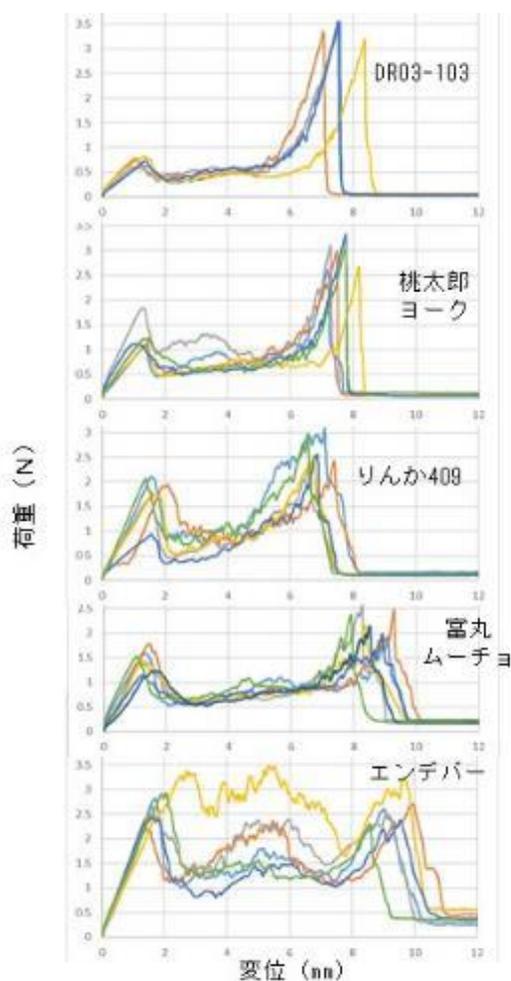


図12 大玉トマト果皮切片の貫入試験による典型的な荷重変位曲線  
1果分(4~7点)の計測結果を重ね書き。



図11 ミニトマトの物性計測方法

- ・ミニトマト赤道面に直径2mmの円柱状プランジャーを貫通(35mm)
- ・1果当たり1点、各品種15果計測
- ・計測後に全量を成分分析に利用

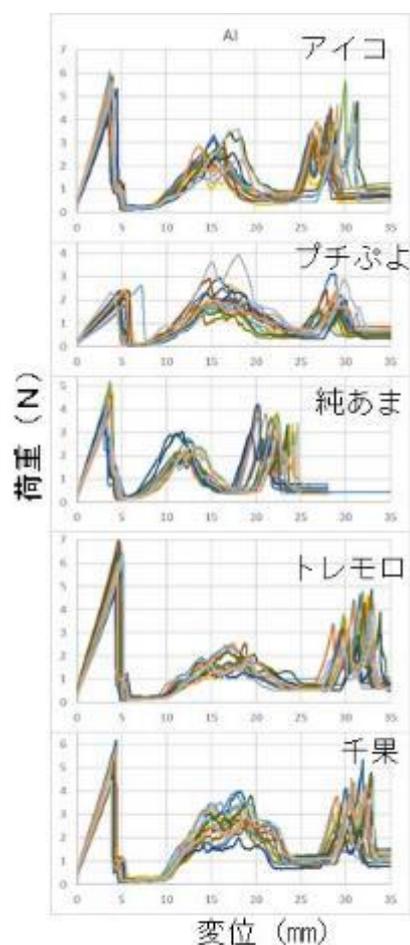
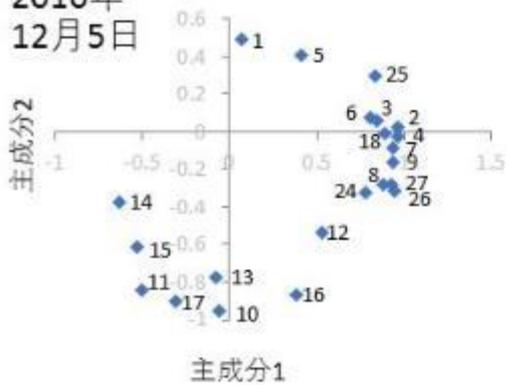


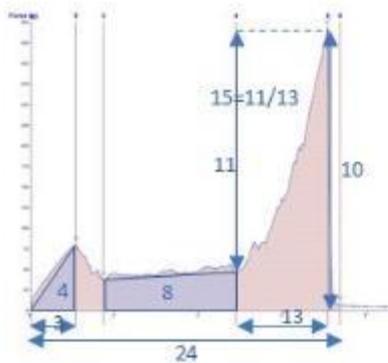
図13 ミニトマト赤道部の貫入試験による荷重変位曲線

15果の計測結果を重ね書き。  
170118サンプル

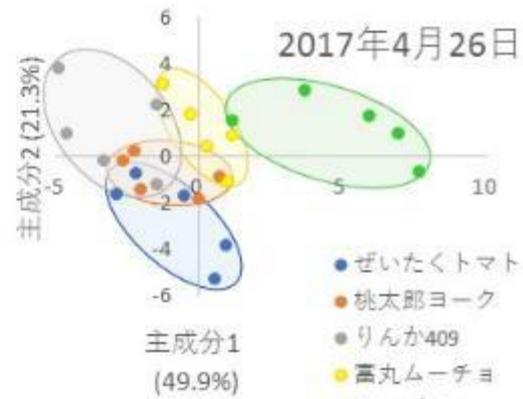
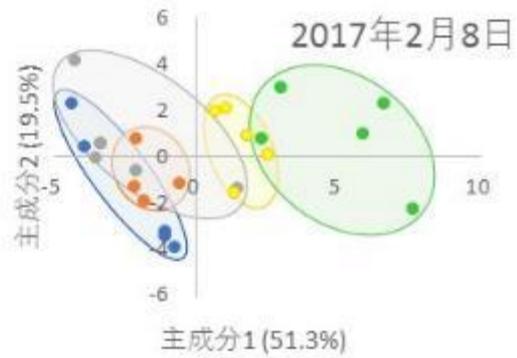
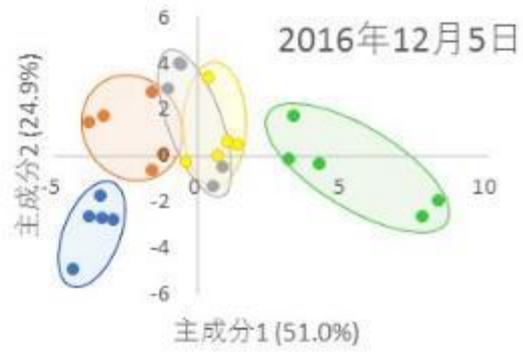
2016年  
12月5日



A 主成分負荷量



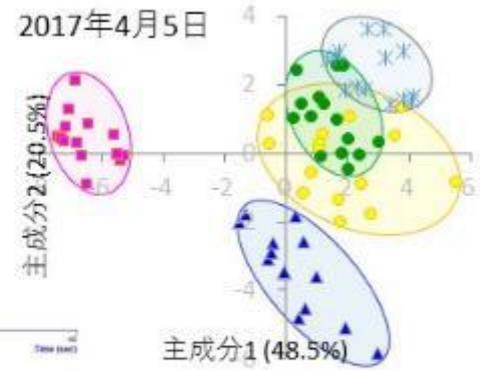
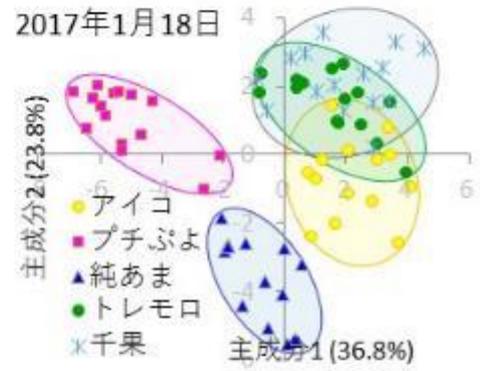
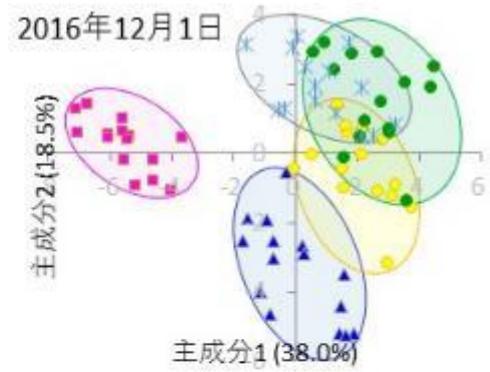
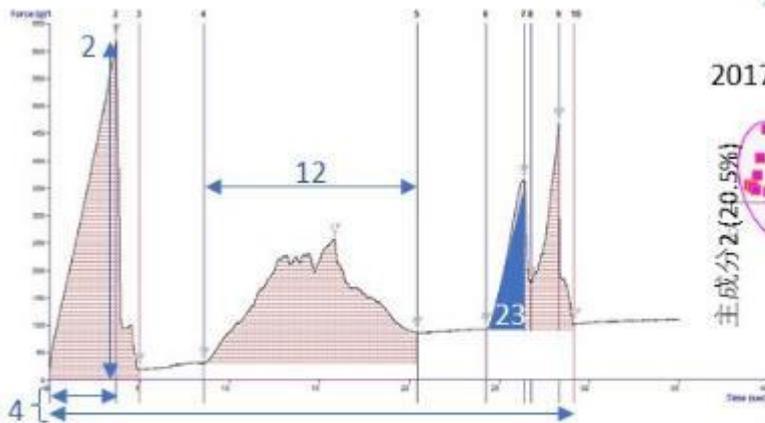
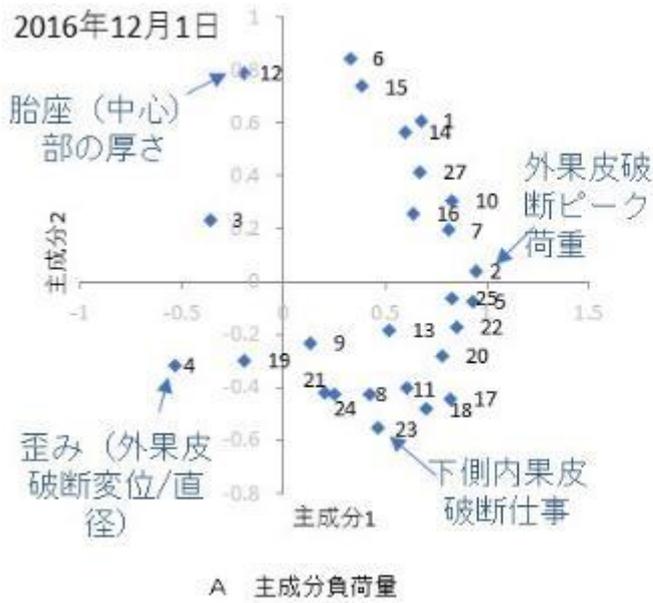
B 主成分分析の変数として用いた  
代表的な計測値



C 主成分得点

- ぜいたくトマト
- 桃太郎ヨーク
- りんか409
- 高丸ムーチョ
- エンデバー

図 1 4 大玉トマト物性値の主成分分析 (H28)



C 主成分得点

図 1.5 ミニトマト物性値の主成分分析 (H28)

中課題番号	13406021	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	I-3	研究期間	平成25～29年度
中課題名	国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発		
小課題名	加工用トマトの加工品（ジュース）の調製、供給及びその品質評価（I-3）		
小課題責任者名・研究機関	小幡明雄・キッコーマン株式会社		

### 1) 研究目的

幅広い品質の加工用トマト品種を栽培して、その加工品（トマトジュース）を解析担当機関に提供することにより、トマト品種と加工品の品質との関係を解析・評価する。そして、本研究で開発された新しい潜在的品質評価法をトマト加工品の製品開発へ応用する。

### 2) 研究成果

トマトジュースの色調に強く影響するカロテノイド類が、それらに由来する分解物によりトマトジュースの香りにも影響を与えることがわかったため、カロテノイドの種類・含量の異なるトマト品種を用いてジュースを調製してサンプルを提供した。リコピン、βカロテンに加え、cisリコピン（プロリコピン）を多く含有するようなサンプルを提供し、解析担当機関で成分分析を実施した。その結果、トマトの色調（カロテノイド類）とそれらに由来する香り成分とは特有の関係性が見出された。また、リコピン含量が高いと色調のa値が高く、β-カロテン含量が高いと色調のb値が高かったが、cisリコピンを含んでいるトマトジュースは、β-カロテンやリコピンはほとんど含まれていなくてもb値が高いことから、分析できていない種々のカロテノイド類が含まれているものと考えられた。

### 3) 成果活用における留意点

5年間の研究結果も踏まえて考えると、cisリコピンを含んでいると予想される品種は、ジュースの色調が今までと異なり（橙色）、香りも異なることから、従来にない新しい特性のトマトジュースができる可能性があると考えられた。今後は、実用化の可能性が考えられる品種を選定し、品質の再現性の確認等の目的から、再度圃場での試験を実施する必要がある。また、カロテノイド類以外の成分でも、香りに強く影響する成分の含有量が異なるなど、優れた特性を持っていると考えられる品種が選抜された場合も、同様に圃場での試験が必要である。

### 4) 今後の課題

過去5年間に幅広い特徴のサンプルを提供することで、トマトジュースの色調および香りに新しい特徴を有するトマト品種を選別することができたことから、当初の目的を概ね達成

できたと考えられる。今後、事業化に向けた検討が必要である。また、今までのトマトジュースの成分データと官能評価データとの統合解析の結果から、トマトジュースの香りに関係しそうな成分群も見出すことができたので、特徴的な新品種を見つけ出せる可能性もある。今後、本成果を大いに活用してゆきたい。

中課題番号	13406021	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	I-4	研究期間	平成25～29年度
中課題名	国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発		
小課題名	リンゴの供給と貯蔵性評価法の開発 (I-4)		
小課題責任者名・研究機関	葛西 智・地方独立行政法人青森県産業技術センターりんご研究所		

### 1) 研究目的

リンゴの品種や栽培条件、貯蔵法の異なる果実試料をプロジェクトに供給するとともに、果実品質及び障害の発生状況を調査する。また、プロジェクトが開発する非破壊評価技術をリンゴの貯蔵性予測に応用する。

### 2) 研究成果

#### (1) 「ふじ」の貯蔵性評価 (平成25～29年度)

国産リンゴの基幹品種である「ふじ」は、貯蔵果実を主体として周年的に供給されている。しかし、年により貯蔵障害の内部褐変<sup>\*1</sup> (図1) が多発生して問題となる。本障害は不明な点が多く、対策は限定的である。そこで、本障害の発生に関与する成分の特定や発生予測技術の開発に供試するため、貯蔵法や栽培条件に差異を与えた果実試料を獲得し、プロジェクトに供給する役割を担当した。



図1 「ふじ」の内部褐変

#### ア) CA貯蔵<sup>\*2</sup>のCO<sub>2</sub>濃度に差異を与えた果実試料の供給 (平成25～27年度)

CA貯蔵庫 (図2) 内のCO<sub>2</sub>濃度が高い条件で貯蔵すると内部褐変の発生が助長されることが知られている。そこで、平成25年産及び26年産の「ふじ」果実を用いて、CO<sub>2</sub>濃度に差異を与えた条件で8か月間CA貯蔵し、2か月おきにプロジェクトに供給した。供給元での品質調査の結果、CO<sub>2</sub>濃度が高い条件ほど内部褐変の発生果率が高いことが確認され (表1)、高CO<sub>2</sub>区では香りが少なく食味が淡白に感じられた。このことから、異なるCO<sub>2</sub>濃度に設定したCA貯蔵により、内部褐変の発生状況や品質が異なる「ふじ」の果実試料を分析・評価担当者に供給したことを確



図2 CA貯蔵庫

認した。

表1 異なるCO<sub>2</sub>濃度に設定したCA貯蔵（0℃）8か月後の内部褐変発生果率

区	CA貯蔵の条件		内部褐変発生果率（%）	
	CO <sub>2</sub> （%）	O <sub>2</sub> （%）	平成25年産	平成26年産
高CO <sub>2</sub> 3%	3.0	2.2	55.0 ab	—
高CO <sub>2</sub> 5%	5.0	2.2	70.0 b	80.0 b
対 照	1.5	2.2	40.0 a	40.0 a

注) 内部褐変発生果率： $\chi^2$  検定により異符号間に5%水準で有意差あり

イ) 1-MCP<sup>※3</sup>処理の有無が異なる果実試料の供給（平成26～27年度）

「ふじ」に対して鮮度保持剤の1-MCPを処理すると内部褐変の発生が助長される可能性が示唆されている。そこで、平成26年産の「ふじ」果実を用いて、1-MCP処理の有無が異なる果実試料を普通冷蔵で8か月間貯蔵し、2か月おきにプロジェクトに供給した。供給元での品質調査の結果、内部褐変の発生果率は区間で差がみられなかったが、1-MCP処理区では果肉硬度や酸度が高く、鮮度保持効果は明らかであった（表2）。このことから、1-MCP処理の有無により、内部褐変の発生状況に影響はなかったものの、品質が異なる「ふじ」の果実試料を分析・評価担当者に供給したことを確認した。



図3 1-MCP処理時の様子

表2 1-MCP処理の有無別の普通冷蔵（0℃）貯蔵8か月後における果実品質

区	硬 度 (lbs)	酸 度 (g/100ml)	内部褐変発生果率 (%)
処 理	12.9	0.125	42.5
無処理	9.7	0.058	55.0
有意性	**	**	n.s.

注) 有意性：\*\* は *t* 検定により1%水準で有意差あり、n.s. は  $\chi^2$  検定により有意差なし

ウ) 栽培条件に差異を与えた果実試料の供給（平成27～28年度）

内部褐変の発生は、果実生育期間の光環境に影響される可能性が示唆されている。そこで、平成27年産「ふじ」について、反射資材の敷設により、光環境の異なる栽培条件を設定した。収穫した果実試料を8か月間CA貯蔵し、プロジェクトに供給した。しかし、供



図4 反射資材の敷設の様子

給元での品質調査の結果、内部褐変の発生状況や品質に大きな差がみられなかった（データ省略）。

エ) 非破壊選果機による内部褐変の発生予測技術の開発（平成27～29年度）

当研究所が保有する非破壊選果機（図5）を用いた平成27年度の予備調査により、内部褐変が発生する1か月程度前に発生の予兆を捉えられる可能性が示唆された。そこで、平成27年産及び28年産「ふじ」のCA貯蔵果実について、定期的に非破壊選果機によるスペクトルデータを獲得した上でプロジェクトに供給した。一斉分析チーム及びデータマイニングチームと密に連携したことにより、発生予測技術が開発され、その有用性も実証できた。



図5 非破壊選果機

(2) 「王林」の貯蔵性評価（平成25～27年度）

「王林」に対して鮮度保持剤の1-MCPを処理するとやけ病（図6）の発生が抑制されることが知られている。そこで、平成25年産及び26年産の「王林」果実を用いて、1-MCP処理の有無が異なる果実試料を普通冷蔵で6か月間貯蔵し、2か月おきにプロジェクトに供給した。供給元での品質調査の結果、1-MCP処理区では果肉硬度や酸度が高く、鮮度保持効果は明らかであり、やけ病の発生は完全に抑制されていた（表3、平成25年産データのみ）。このことから、1-MCP処理の有無により、やけ病の発生状況や品質の異なる「王林」の果実サンプルを分析担当者に供給したことを確認した。



図6 「王林」のやけ病

表3 1-MCP処理の有無別の普通冷蔵（0℃）貯蔵6か月後における果実品質

区	硬度 (lbs)	酸度 (g/100ml)	やけ病発生果率 (%)
処理	13.5	0.186	0
無処理	9.8	0.079	70.0
有意性	**	**	—

注) 有意性: \*\* は  $t$  検定により 1% 水準で有意差あり

(3) その他品種の潜在的品質の探索（平成25～27年度）

「ふじ」と「王林」の他、肉質に特徴がある「あおり15」(商標名: 星の金貨)、「ロム50」(俗称: かおり)及び「あおり21」(商標名: 春明21)の3品種を選定し、プロ



図7 「あおり15」、「ロム50」及び「あおり21」

ジェクトに供給した。

### 3) 成果活用における留意点

なし

### 4) 今後の課題

なし

#### 用語説明

- ※<sup>1</sup> 内部褐変：「ふじ」の貯蔵後半にあたる4月以降に発生し、境界が不明瞭な淡い褐変がしだいに果実全体に及ぶ。みつが多い果実、成熟が進んだ果実、夏季冷涼な年に生産された果実で発生しやすい。有袋果で発生が少ないが、年によっては有袋果であっても被害が大きくなる。
- ※<sup>2</sup> CA貯蔵：冷蔵庫内の大気組成を調整することにより、青果物の呼吸を抑え鮮度を保持する貯蔵技術。リンゴではO<sub>2</sub>濃度1.8～2.5%、CO<sub>2</sub>濃度1.5～2.5%の範囲で管理することが推奨されている。
- ※<sup>3</sup> 1-MCP：青果物のエチレンによる成熟・老化作用を抑制する鮮度保持剤で、近年、その高い効果から世界的に利用が広がっている。収穫した果実を機密性の高い施設に搬入し、その内部で12～24時間くん蒸処理する。果肉硬度や酸度の低下、各種障害の発生を抑制する効果が高い。冷蔵庫から出庫して冷却が途切れた後でも一定期間、鮮度時効果が継続する。
- ※<sup>4</sup> やけ病：果皮が褐変する貯蔵障害で「玉林」に発生しやすい。未熟な果実で発生しやすいため、未熟やけとも呼ばれる。1-MCP処理により発生をかなり抑制できる。

中課題番号	13406021	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	I-6	研究期間	平成25～29年度
中課題名	国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発		
小課題名	リンゴ・トマトの官能評価 (I-6)		
小課題責任者名・研究機関	早川文代・農研機構 食品研究部門		

### 1) 研究目的

農産物の品質のなかでも、「人が食べたときにどう感じるか」は極めて重要な要素であり、本プロジェクトの解析に欠かせない変数の一つである。そこで、本実行課題では、トマト（生食用）及びリンゴの定量的な官能評価を行い、食味や食感を詳細にプロファイルすることを目的とする。具体的には、(1)評価項目等を詳細に検討してトマト（生食用）及びリンゴの定量的な官能評価法を開発すること、(2)試料の官能特性プロファイルを定量的なデータで得て網羅的解析の変数としてプロジェクトに提供すること、さらに、(3)生産や加工の現場で使用できるよう開発した高度官能評価法の簡易法の開発を行うこと、の3点を目的とする。

### 2) 研究成果

#### リンゴ

##### (1)官能評価法の設計

王林、ふじ等、品種の異なるリンゴの長期貯蔵中の品質を示すための官能評価を設計した。青森県産業技術センターりんご研究所で栽培されたリンゴ（I-4から提供）を用い、リンゴの育種や栽培の専門家への面接調査及び官能評価パネルの討議を行い、22の評価項目と各項目の評価部位を決定した。さらに、各項目の定義づけおよび尺度の使い方の共有化を図った。

また、貯蔵試料の非破壊のモニタリングのため、簡便に行える、個体のままのにおい嗅ぎによる官能評価法を設計した。

##### (2)データの取得

H25年および26年に収穫し、0～8ヶ月貯蔵した試料「王林」「ふじ」「あおり15」「ロム」「あおり21」（実行課題I-4から提供）について官能評価データを取得した。データに主成分分析を適用し、貯蔵試料のプロファイル変化を図示することができた。「王林」では、1-MCP処理した試料は貯蔵に伴うテクスチャーの変化が遅くて変化の程度も小さいが、熟した甘い風味を感じる期間が短いこと等が示された。

#### トマト

##### (1)官能評価法の設計

大玉トマト及びミニトマトについて、部位差を考慮した官能評価を設計した。市販のトマ

ト（I-1から提供）及び農研機構植物工場つくば実証拠点で栽培されたトマト（I-2から提供）を用い、トマトの育種や栽培の専門家への面接調査の後、官能評価パネルの討議を行い、評価項目及び評価部位を決定した。さらに、官能評価項目の定義づけ及び尺度の使い方の共有化を図った。香りの項目は、トマトを蓋つきの容器に一定時間密閉し、パネリストが蓋を開けてヘッドスペースのにおいを嗅いで評価した。その後、トマトの試料片を食べて風味及びテクスチャーの項目を評価した。試料片の形や大きさは項目によって変えた。

#### (2) データの取得及びプロジェクトへの提供

上記(1)で設定した方法により、大玉トマト及びミニトマトそれぞれ5品種について、収穫期の異なる果実を試料として（I-2から提供）、官能評価を行った。「酸っぱいにおい」「イチゴの甘いにおい」等、19特性について各試料のデータが得られ、品種による官能特性の違いが示された（図1及び2）。

大玉トマトのデータに主成分分析を適用した結果、第1主成分は主に甘みや果汁感による「濃厚感」、第2主成分は甘味以外の味や香りによる「風味の重層感」と解釈された（図3）。このように官能特性を集約したことによって、従来、重要視されていた「甘みの濃さ・強さ」だけでなく、甘み以外の味や香りによる「風味の重層化」という品質の価値を見出した。また、収穫時期による官能特性の変動も示され、エンデバー（ED）は収穫時期の変動が大きく、りんか409（RI）は変動が小さい等、変動の大きさは品種によって異なった。なお、ミニトマトの場合は、主成分分析によって、「果皮の存在感」と「フルーツ感」が品質の主要な特性として抽出された。

#### (3) 簡易的な官能評価法の提案

項目間の相関係数から、いくつかのテクスチャー項目（「かたさ」「粉っぽさ」等）は省略可能であると考えられた。簡易的に行う官能評価の場合は、テクスチャー項目の削減によって、パネリストや実験者の負担軽減および試料の節約を実現できることが期待できる。

### 3) 成果活用における留意点

本課題の成果である官能評価法には、パネルの訓練法は含まれていない。簡易法も含め、種々の現場で本官能評価法を導入する際は、適切な選抜及び十分な訓練を経た分析型パネルが必要である。

なお、主成分分析による官能特性のマップは、使用する試料によって変動する可能性があるため、本プロジェクトで対象としていない試料については、利用する前に確認が必要である。

### 4) 今後の課題

早期の成果公表に向けて準備中である。

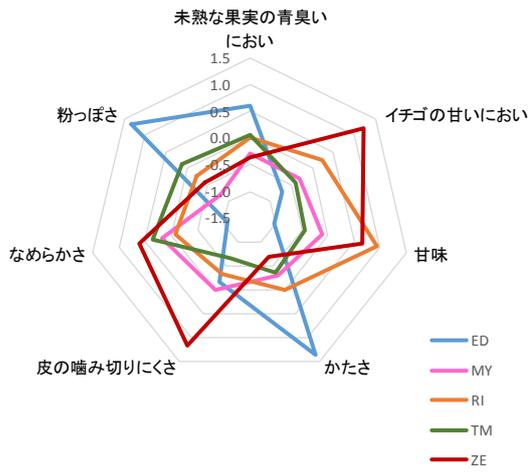


図1 大玉トマト試料の官能特性

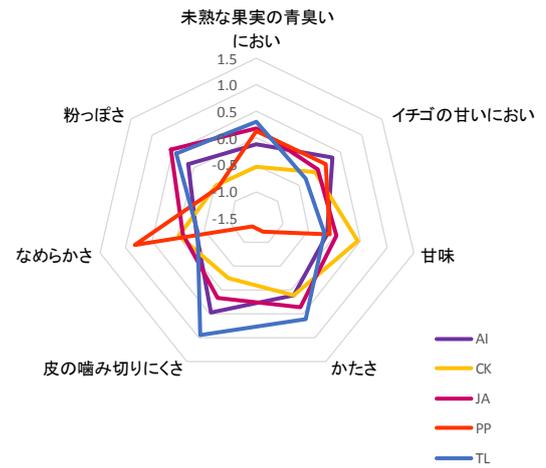


図2 ミニトマト試料の官能特性

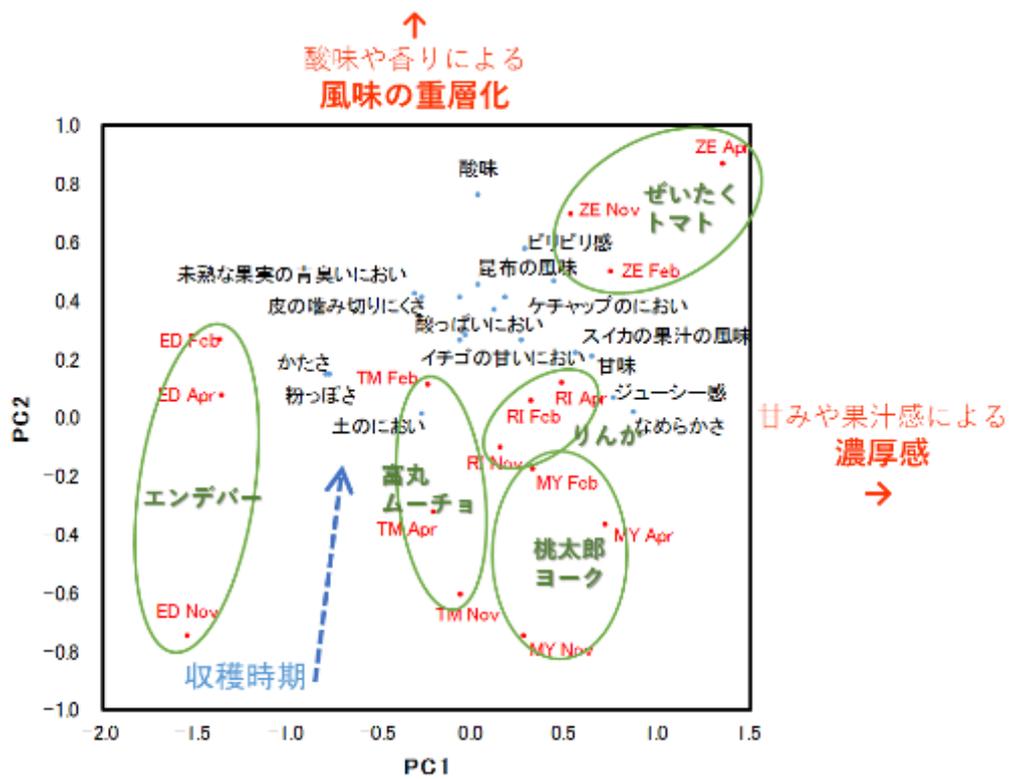


図3 主成分分析によるトマトの官能特性のマッピング (大玉トマト)

中課題番号	13406021	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	I-7	研究期間	平成25～29年度
中課題名	国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発		
小課題名	近赤外光法及び画像統計変数解析による農作物の非破壊品質推定技術の開発 (I-7)		
小課題責任者名・研究機関	農研機構 食品研究部門食品分析研究領域・池羽田晶文 立命館大学 理工学部環境システム工学科・和田有史 東京大学 大学院農学生命科学研究科・吉村正俊		

## 1) 研究目的

青森県は国内随一のリンゴの生産拠点であり、県内には多くのリンゴ貯蔵施設を備え、貯蔵果実を主体として供給している。農作物の貯蔵における大きな問題は鮮度保持である。本研究ではCA (Controlled Atmosphere) 貯蔵後の内部褐変や、1-メチルシクロプロペン (1-MCP) による鮮度保持効果等の検出を目的に、可視・近赤外分光法および画像統計変数解析による非破壊計測技術の開発を目的とする。一方、比較的安定的に試料が入手できるトマトおよびトマトジュースを利用して分析手法の構築を行うこととした。

具体的にはトマト、リンゴのデジタルカメラ画像から統計変数解析によって、人間が感じる品質の迅速な数値化を行う。また可視・近赤外分光法では、非破壊的測定により果実の機能性成分測定が可能である。可視・近赤外光を用いたマシンビジョンの将来的な普及を見越し、人間が感じる品質と化学的な成分の相関（潜在的品質）を同時に評価できる光分析技術を目指した。具体的な研究項目として、以下の5つを実施した。

- ① 可視・近赤外分光法および可視画像によるリンゴの貯蔵期間・鮮度の評価
- ② スキャナ画像計測によるリンゴの褐変度の数値化
- ③ 可視・近赤外分光法によるトマトジュースの評価
- ④ 可視・近赤外分光法によるリンゴ褐変推定
- ⑤ トマトの非破壊的評価

## 2) 研究成果

### ① 可視・近赤外分光法および可視画像によるリンゴの貯蔵期間・鮮度の評価

貯蔵期間の異なる2品種のリンゴ（青森県産「ふじ」および「王林」）の可視・近赤外スペクトルおよびデジタル可視画像を取得し、貯蔵期間・鮮度評価の可能性について検討した。リンゴの可視・近赤外拡散反射スペクトルから主成分分析およびPLS回帰分析によって、大まかな貯蔵期間の違いを推定できる可能性を見出した。「ふじ」では収穫直後から8ヶ月まで、「王林」では6ヶ月まで1ヶ月ごとにスペクトルを計測し、経過月を目的変数としてPLS回帰分析を行った結果、いずれも1ヶ月以内の予測誤差で貯蔵履歴を推定できる可能性がある。同方法では1-MCP処理による長期貯蔵後の鮮度保持効果についても確認できた。一方、デジタルカメラで撮影した王林の表面画像をCIE Lab色空間中のa,b平面上の距離として分

析した。その結果、1-MCP処理の有無によって、月単位での貯蔵期間経過による色の変化に有意差が存在することを見だし、鮮度保持効果の推定可能性を示唆できた。

## ② スキャナ画像計測によるリンゴの褐変度の数値化

熟練者によるリンゴの褐変果の評価がどのような情報に基づいて行われているか、輪切りにしたリンゴ切断面のスキャナ画像を刺激として用い、評価した。褐変（および蜜）として判定される部位をモニタ上で指示する実験により、褐変領域の面積が視覚的に決められる褐変割合に相関することを確認した（下図）。これにより従来法に代わって褐変および蜜の割合を定量的に決める画像統計変数技法を開発した。プロジェクト期間中に数値化モデルの一部を改良し、最終的には画像から褐変度を出力するソフトウェア（Windows上で動作する独立した実行ファイル）を開発した。

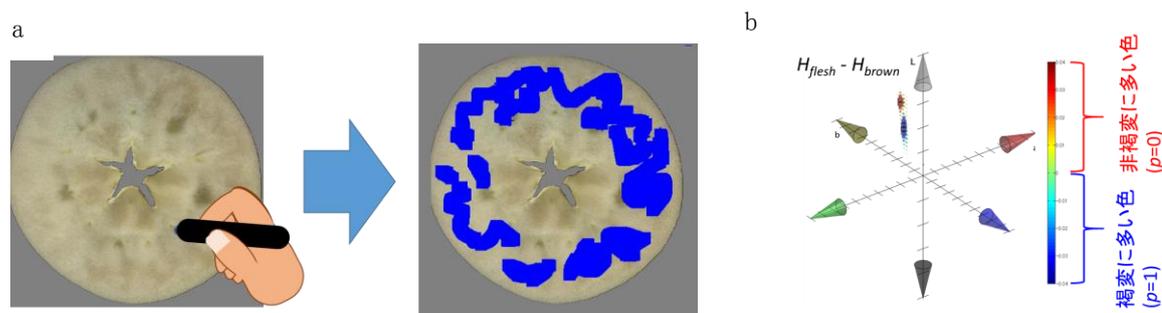


図1 エキスパートによる褐変部位の特定とそれに基づく色空間における褐変色のモデル  
a:実験課題の概念図 b:Lab空間における非褐変色と褐変色の差分に基づくモデル

## ③ 可視・近赤外分光法によるトマトジュースの評価

トマトジュースについて、可視・近赤外分光法（波長領域 400～2500 nm）によってBrix、色調（L、a、b）、リコペン、βカロテン、クロロフィルAの含有量が従来法と同程度の精度で推定可能であることを示した。溶媒抽出が不要であることから、品質評価における手間、時間および試薬量を大幅に削減できる可能性が示された。

## ④ 可視・近赤外分光法によるリンゴ褐変推定

②のスキャナ画像から求めた内部褐変度を教師データとして、反射型ポータブル可視・近赤外装置による内部褐変の非破壊推定を試みた結果、より深部の情報を得るため、高強度光源を有する透過型装置の必要性が明らかとなった。そこで青森県内で実際に糖度選果に使用されている透過型近赤外装置を使用させてもらい、対象とするリンゴ試料の非破壊スペクトル計測を4月以降、定期的を実施した。試料は青森県りんご研究所で栽培されたリンゴを用いた。11月に収穫したのち、3月までCA貯蔵し、4月以降は通常大気冷蔵庫にて貯蔵した。CA解放後は1ヶ月ごとにスペクトル計測し、また冷蔵庫にもどす作業を繰り返した。リンゴ試料は何群かに分け、冷蔵1ヶ月後、2ヶ月後と、7月頃まで月ごとに赤道面で割り、②課題の方法で褐変度を数値化して選果機データ（可視・近赤外スペクトル）に対応する目的変数とした。以上のデータを用い、データマイニングチームと協力して判別モデルを構築したところ、いま現在の内部褐変を推定することはもちろん、褐変の可能性を1ヶ月前のスペクトルから「予測」できる可能性も示された（詳細は課題III-2報告書を参照）。

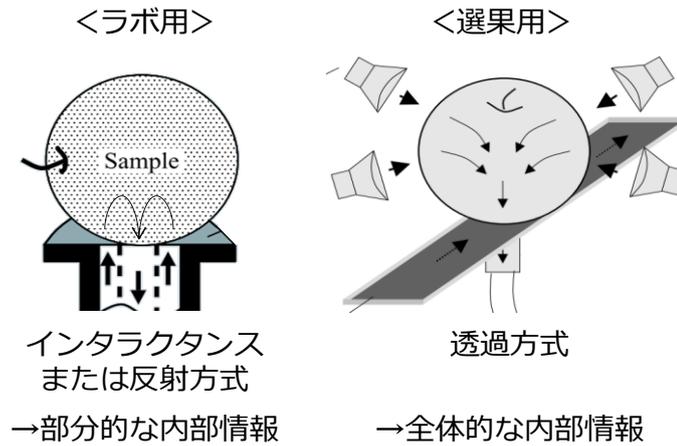


図2 近赤外分光法の光学系模式図

### ⑤ トマトの非破壊的評価

具体的には農研機構植物工場で栽培された大玉トマト・ミニトマト、また市販のミニトマト等の可視・近赤外スペクトル計測を実施した。データマイニングチーム (III-2) と協力し、メタボローム解析結果を利用して非破壊推定精度を向上する方法を検討した。まず一斉分析チームの提供するLC/MS、GC/MS等の結果から、潜在的品質（官能評価スコア、活性酸素消去能など）と相関する成分を見つけ出し、次にこの成分と相関の高い可視・近赤外スペクトルの波長を選択した。選び出された波長だけを用いて潜在的品質を推定する検量モデルを作成すると、全波長を使用する場合に比べて推定精度が向上することが確かめられた。

### 3) 成果活用における留意点

⑤で得られた解析手法は、メタボローム解析を利用して非破壊計測の精度を向上させる一般的な方法として利用できる可能性がある。また、結果的にリコピンなどの機能性成分や、活性酸素消去能、香りや味などの官能評価指標が非破壊的に推定できることから、品種ごとの特徴付けに役立てたり、機能性表示食品への対応に利用したりできると考えられる。

### 4) 今後の課題

今回の検証はリンゴ、トマトとも、限られた環境で栽培された小ロットの試料を対象とした。このため、現場実装できる非破壊計測用の普遍的な検量モデルを得るには、より多くの試験を積む必要がある。

中課題番号	13406021	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	II-1	研究期間	平成25～29年度
中課題名	国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発		
小課題名	GC/MSによるトマトの網羅的香気成分解析（II-1）		
小課題責任者名・研究機関	飯島陽子・神奈川工科大学		

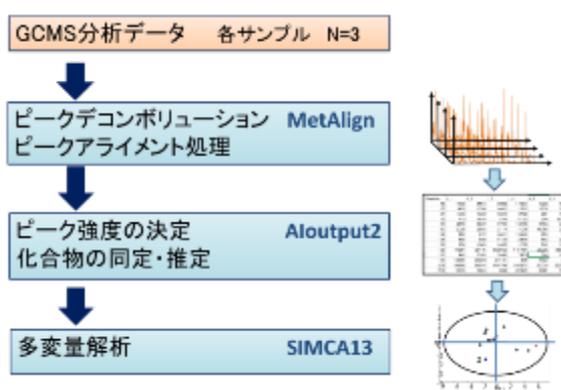
### 1) 研究目的

トマト果実やトマトジュースの揮発性成分をトラップし、GC/MSスペクトルを測定し、主に香りなどの品質に関わる成分の解析を行う。他の物性および官能評価に関与する成分を見出すため、コンソーシアムにデータを提供する。また、トマト香気成分のMSスペクトル、リテンションインデックスとその官能特性等の情報を収集し、トマト果実およびトマトジュースの香気成分分析の簡便化、解析の迅速化に貢献する。

### 2) 研究成果

#### ① トマト果実およびジュース香気成分の迅速分析法の確立

生鮮トマト果実およびトマトジュースを用いて再現性および正確性を重視したGC-MSによる香気成分分析法の確立を行った。香気特性の異なる品種間で香気プロファイルを比較し、できるだけ多くの成分が同定できるよう、標品データベースの充実を図った。トマト果実およびジュース1gを用いてSPME法によりヘッドスペースガスを捕集し、GC-MS



分析により揮発性成分の分析を行った。大阪大学が開発したメタボローム解析専用のソフトウェアAIOUTPUT2を香気成分分析用に改変することで多サンプル分析データの一括解析を可能とすることができ、解析時間のスピードを上げることができるようになった。その手法を図1に示す。また、約300種の香気成分を同一条件で分析し、標品データベースの作成を行った。本手法を用いて、以下のトマト果実およびトマトジュースの解析を進めた (Iijima et al., Biosci

図1. 香気成分の迅速分析法の確立

Biotechnol Biochem. 80, 2401-2411.(2016))。

②品種および収穫時期によるトマト果実香気の変化と比較

試料として、同じ圃場（農研機構植物工場）で同一条件により栽培した赤色系の大玉トマト果実およびミニトマト果実各5品種を用いた。2016年12月、2017年2月、4月の3回に渡って収穫して系統的なサンプリングを行った（5品種×3収穫時期×5検体）。各サンプルは液体窒素中で凍結し、ファイバー(DVB/PDMS 50/30, 2cm)を用いてSPME法により香気成分の抽出を行った。分離カラムにDB-5ms(30m×0.25mm i.d.×0.25μm)を使用してGC-MS分析を行った後、化合物の同定・推定を行い、多変量解析を実施した(図2)。

GC-MS分析の結果、大玉トマト果実から検出された66成分について同定または推定できた。66成分のピーク強度を変数とした主成分分析の結果、全ての収穫時期において品種ごとにグループ化され、品種による香気成分組成の違いが認められた。Loadingの値から、2-methylbutanol、1-nitro-3-methylbutaneが香気の違いに強く寄与していると示された。次に、品種ごとに行った主成分分析により、5品種すべての香気成分組成が収穫時期に伴い変動し、全品種において同じ挙動を示す成分として (Z)-3-hexenal、hexanal、(E)-2-hexenal等が確認できた。さらに、階層クラスター分析の結果、大玉トマト果実の香気成分組成には、収穫時期の違いが品種以上に強く影響する傾向がみられた(図3)。

ミニトマト果実についても、同定または推定できた70成分を変数として主成分分析を行った結果、全ての収穫時期において品種による香気成分組成の違いが認められ、2-methylbutanol、1-nitro-3-methylbutane、(Z)-3-hexenalが香気の違いに強く寄与する成分として示された。しかし、収穫時期による変動については明確な変動はみられず、階層クラスター分析の結果から、ミニトマト果実の香気成分には品種の違いが収穫時期より強く影響することが確認された(図4)。

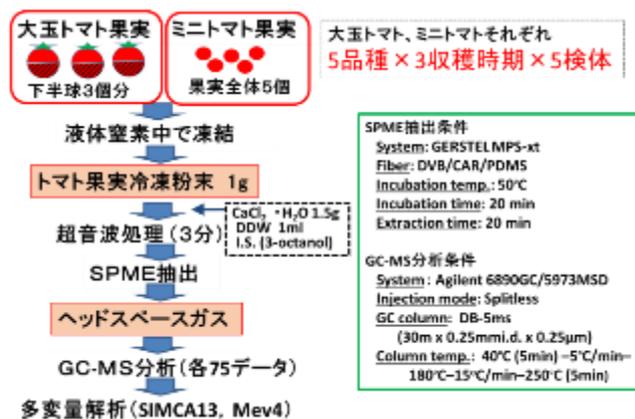


図2. トマト果実のサンプリング

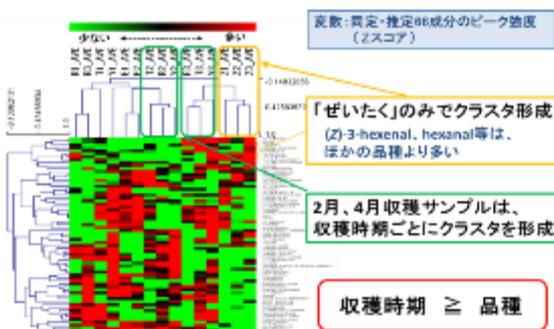


図3. 大玉トマト果実の香気成分組成に及ぼす影響 (階層クラスターリング)

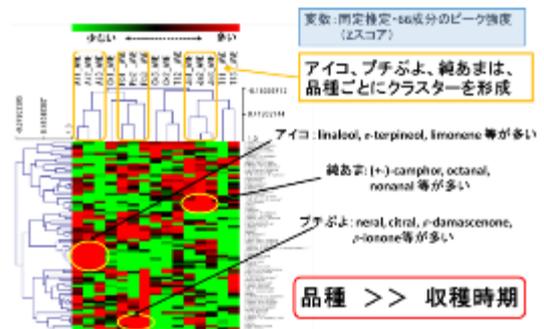


図4. ミニトマト果実の香気成分組成に及ぼす影響 (階層クラスターリング)

### ③ トマト果実の色調が香気組成に与える影響

近年、様々な色のトマト果実が市場で出回っており、トマト果実の香気には、主に cis-3-hexenal などの C6 化合物のほか、 $\beta$ -ionone、6-methyl-5-hepten-2-one、geranyl acetone などのアポカロテノイド類が含まれる。これらのアポカロテノイド類は、リコピンなどのカロテノイドからカロテノイド開裂酵素の働きで生成することが知られている。

そこで本研究では、様々な色のトマト果実を用いて色調の違いが香気組成に及ぼす影響について調べることを目的とした。赤色、黄色、橙色、緑色、紫色といったカラフルトマトの香気組成の比較とカロテノイド成分の分析を行った。多変量解析により香気プロファイルとカロテノイド色素との相関について調べた。試料には、市販のトマト果実(赤色系:5種・黄色系:1種・オレンジ色系:3種・紫色系:1種・緑色系:2種)、計12種類を用いた。各トマト果実の表面をカラーリーダーで測定後、1/2または1/4に分け、半分を香気分析用、残りの半分を色素分析用とし、液体窒素中で凍結した。これらのサンプルについて、香気組成は GC-MS によって分析し、カロテノイドは HPLC によって分析した。

GC-MS による香気プロファイルについて、主成分分析を行った結果、品種によるばらつきはあったものの、大まかに赤色系、オレンジ色系、緑色系の3つのグループに分かれた(図5)。一方、黄色系および紫色系は判別出来なかった。より詳細に色素の違いによる香気組成の違いについて、OPLS-DA によって赤色系vs緑色系、赤色系vsオレンジ色系およびオレンジ色系vs緑色系でそれぞれ2群間比較を行った。その結果、赤色系トマトは、オレンジ色系・緑色系トマトよりも 6-methyl-5-hepten-2-one、geranyl acetone、geranial が多い傾向を示した。また、オレンジ系トマトでは、 $\beta$ -ionone が多かった。緑系トマトでは、2-phenylethanol が多い傾向を示した。

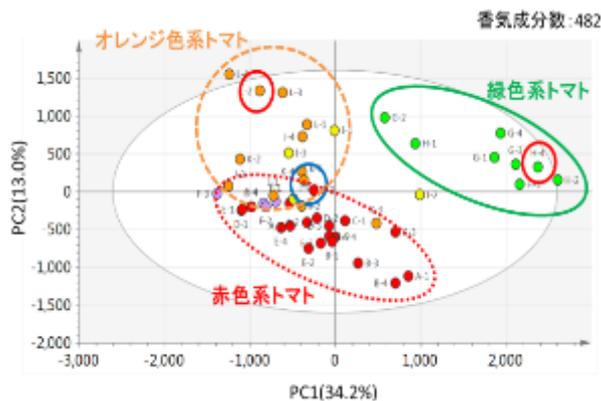


図5. 様々な色のトマトの香気成分に基づく主成分分析

また、リコピンと $\beta$ -カロテン量との相関が高い成分を検索した結果、6-methyl-5-hepten-2-one、geranyl acetone、geranial 量がリコピン量と相関が高く、 $\beta$ -ionone が $\beta$ -カロテンと相関が高いことが分かった(図6)。このことからカラフルトマトにおけるカロテノド色素は、トマトの香気組成に影響をもたらすことが考察された。

また、リコピンと $\beta$ -カロテン量との相関が高い成分を検索した結果、6-methyl-5-hepten-2-one、geranyl acetone、geranial 量がリコピン量と相関が高く、 $\beta$ -ionone が $\beta$ -カロテンと相関が高いことが分かった(図6)。このことからカラフルトマトにおけるカロテノド色素は、トマトの香気組成に影響をもたらすことが考察された。

#### lycopeneと香気組成の相関

	相関係数				
	6-methyl-5-hepten-2-one	geranyl acetone	geranial	hexanal	cis-3-hexenal
lycopene	0.68**	0.64**	0.71**	-0.13	0.07

(\*\*:.1%有意,\*:.5%有意)

#### $\beta$ -caroteneと香気組成の相関

	相関係数		
	$\beta$ -ionone	hexanal	cis-3-hexenal
$\beta$ -carotene	0.59**	-0.03	-0.17

(\*\*:.1%有意,\*:.5%有意)

図6. カロテノイドと香気組成の相関

#### ④生食用トマトと加工用トマト果実およびジュースの香気特性の比較

本研究では、生食用トマトと加工用トマトの香気特性をより詳細に調べるため、典型的な生食用トマト(桃太郎種)と加工用トマト(シシリアンルージュ)を用いて、それぞれ生鮮の状態と加熱後の香気組成について分析、比較した。さらにGC-Olfactmetryにより香気特性の違いについて調べた。生食用トマトとして桃太郎Jトマト、加工用トマトとしてシシリアンルージュを購入し、それぞれを液状になるまでジューサーでホモジナイズし、それぞれそのままの状態のもの(生サンプル)、オートクレーブ滅菌(121℃、5分)にかけたもの(加熱サンプル)をサンプルとした。各サンプルについて、それぞれ4連で調製した。香気成分はSAFE法により抽出した。ジクロロメタンを加え攪拌終了後、遠心分離を行い、ジクロロメタン層を得た。SAFE装置により不揮発性成分を除き、香気抽出液を得た。得られた香気抽出液は、減圧条件下にて2mlまで濃縮し、さらに窒素ガスで0.5mlまで濃縮を行い、GC-MSおよびGC-Olfactmetry分析を行った。

SAFE法により得られた桃太郎Jおよびシシリアンルージュのそれぞれ生および加熱サンプルの香気濃縮物は、元のサンプルの香気を再現しており、それぞれ特徴的な香気特性を示していた。各サンプルのGC-MSプロファイルを基に主成分分析を行った結果、第1主成分で品種の違い、第2主成分で加熱の有無で判別された(図7)。次に各サンプルの特徴に寄与する成分について、各群間での比較により検索を行った。まず、桃太郎Jでは、シシリアンルージュに比べ、eugenolやmethyl salicylateなどのフェノール性香気成分が多く存在した。両品種に共通に存在し、加熱により増加する成分として、phenylacetaldehyde, furfural, 2,4-decadienal、methionalなどが見いだされ、加熱により減少する成分には、methyl salicylateや未知成分が見いだされた。また、サンプルによって加熱による増減傾向の異なる成分も検出された。

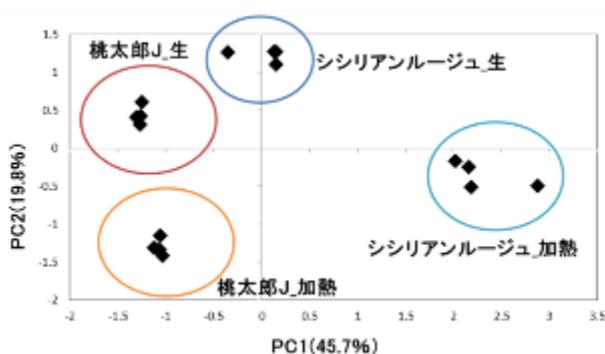


図7. 生食用および加工用生トマトと加熱トマトジュースの香気組成の違い(主成分分析)

GC-OによりAEDA(Aroma Extract Dilution Analysis)法で香気寄与成分を探索した結果、多変量解析で各サンプルの判別に寄与度の高かった成分が香気寄与度が高いことも分かった(表1)。以上のことから、香気寄与度の高い成分の生食用トマト加工用トマト間、さらに加熱の有無での量的な違いが、各サンプルの香気特徴に影響をあたえていることが示唆された。

表1. 多変量解析で差が大きかった成分の香気寄与度の比較

成分	においの特徴	桃太郎J_生	桃太郎J_加熱	シシリアンルージュ_生	シシリアンルージュ_加熱
methional	芋、ゆで芋、豆	64	64	64	64
benzaldehyde	花、蜜		64	64	64
HDMF (furanol)	甘い、キャラメル	16	64	16	64
2-methoxy-phenol	消毒、薬箱	64	64		
2-nonenal	青くさい、きゅうり		64		64
2,4-decadienal	青くさい、金属、プラスチック	16	64	64	64
eugenol	ガム		16		
4,5-epoxy-2-decenal	もわっとした、金属	64	16	64	16

### ⑤市販トマトジュースの香気組成と官能評価の相関解析

トマトジュースは、栄養や機能性、飲みやすさなどから人気の高い野菜ジュースであるが、国内で出回流通するトマトジュースのおいしさや特性の違いについてはよく分かっていない。そこで本研究では、トマトジュースの香りに着目し、市販のトマトジュースについて、成分分析および官能評価データから比較解析を行い、トマトジュースのフレーバー特性を調べることを目的とした。

国内で出回流通する市販品を含む15種のトマトジュース（食塩無添加ストレートジュース）を入手しサンプルとして用いた（市販品11種、試作品4種）。香気成分組成については、ヘッドスペースガスをSPME法により捕集し、GC-MS分析にて調べた。官能評価は、定量的記述分析法（QDA法<sup>®</sup>）によって鼻先香（18用語）と口中香（16用語）について調べた。各取得したデータについて多変量解析を行った。

15種のトマトジュースの香気分析によって、合計160種の揮発性成分を検出し、そのうち93種の成分について同定および推定ができた。しかし、67種の成分については、ピークとして認められるものの同定にいたらなかった。これら160種の成分ピーク強度を用いて主成分分析を行ったところ、第一主成分および第二主成分において76%の寄与率を示した（図8）。スコアプロットの結果、トマトの品種および製造法の違いによってサンプルが分離する大別されることが分かり、ローディングプロットから、それぞれいくつかの寄与成分についてスクリーニングすることができた。官能評価データについても同様に主成分分析を行ったところ、スコアプロットのパターンが香気成分分析のパターンと似ていることが分かった（図8）。そこでPLS回帰分析により、各官能評価用語について香気成分プロファイルによる予測モデルの構築をおこなった。その結果、“トマトのフレッシュ香”や“ホールトマトのような香り”などいくつかの官能評価用語について精度の高い予測モデルを構築することができた。

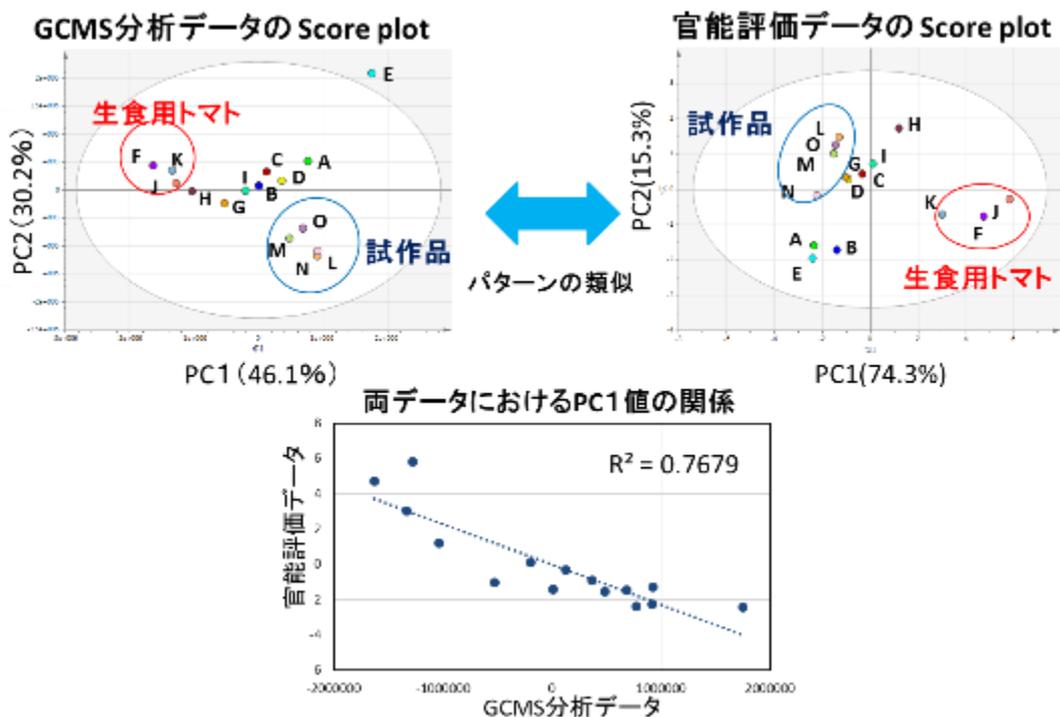


図8. GCMS分析データと官能評価データの相関性

#### ⑥加熱調理モデルを用いたトマトジュースの香気組成変化

スープや煮込み料理など様々な加熱調理にトマトジュースは用いられるが、加熱時間の違いがジュースの風味にどのような影響を与えるかについては分かっていない。また、流通時や家庭で保管する際の風味の変化についても不明である。本研究では、トマトジュースの香気成分に着目し、加熱調理モデルを用いた場合の時間依存的な変化について検討することを目的とした。

加熱による影響を検討するために、加熱調理を想定した温度条件である95-100℃で0、0.5、1、2、3、5時間加熱した6種類の食塩無添加ストレートトマトジュースを試作し、サンプルとして用いた。さらに、対象として保存による影響を検討するために、前述の0時間加熱の試作品を、流通時や家庭における保管を想定した35℃で0、30、60、90日間保存して、4種類のサンプルとした。香気成分については、ヘッドスペースガスをSPME法により捕集し、GC-MS分析にて調べ、得られたデータについて多変量解析を行った。

9種類のサンプルの香気成分分析を行った結果、合計165種の揮発成分を検出し、そのうち80種の成分について同定および推定することができた。これら165種類および80種の成分のピーク強度を用いてそれぞれ主成分分析を行ったところ、どちらも第一主成分および第二主成分において80%以上の寄与率を示した。どちらも加熱時間の異なるサンプルについては6つのグループに分かれたが、保存サンプルについては明確なグループに分かれなかった(図9)。加熱時間による香気成分の変化を詳細に調べるために、同定および推定することができた香気成分のデータを用いてOPLS解析を行った結果、香気成分組成について加熱時間による精度の高い予想モデルを構築することができた。さらに加熱時間に関与するマーカー成分として、2-pentylfuran、hexanal、phenylacetaldehyde、cyclohexanoneなど11成分が確認された。

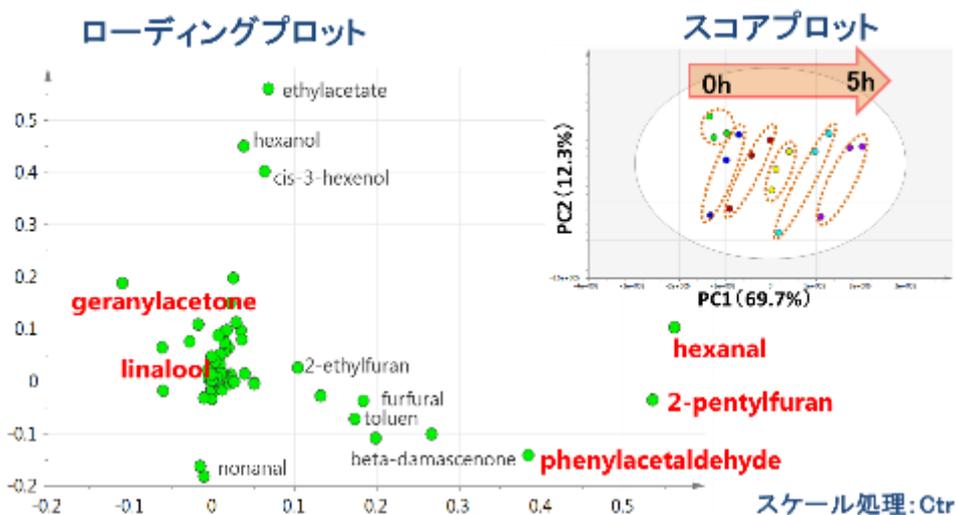


図9. 加熱調理を想定したジュースの香気組成変化

### 3) 成果活用における留意点

本研究で用いたサンプルやデータは、果実については国内産のものであり、トマトジュースも国内規格で製造され、あくまでも日本人の嗜好に沿ったものである。トマトは世界中でポピュラーな野菜であるが、国によって好まれる果実の風味特性も異なり、ジュースの製造規格が異なる。さらには調理法の違いなどにより嗜好特性は日本と外国では異なることが予想されるため、本成果を活用できるのは国内で限定されるかもしれない。

### 4) 今後の課題

本研究の結果は、トマト果実およびトマトジュースの揮発性成分に特化したものである。トマトの品質価値は、味や色など多様である。また、テクスチャーも重要である。そのため、その品質を客観的に解明するためには様々なデータとの統合解析は不可欠である。また、香気成分は他の成分に比べ圧倒的に量が少ない。一次代謝物、リコピンなど量的に多い成分との関係性が把握できれば、フレーバー予測も可能ではないかと考える。

中課題番号	13406021	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	II-2	研究期間	平成25～29年度
中課題名	国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発		
小課題名	GC/MSによるリンゴの網羅的香気成分解析 (II-2)		
小課題責任者名・研究機関	田中 福代・農研機構 中央農業研究センター		

### 1) 研究目的

農林水産物やその加工品の潜在的品質を明らかにし、評価する手法を開発するプロジェクト全体のミッションの中で、本課題はリンゴやその加工品の香気成分を解析し、官能評価や加工適性データ、生理障害の発生と関連づけるためのデータを提供する。

### 2) 研究成果

(1) ふじ長期貯蔵後の果肉褐変のバイオマーカーの検索と発症メカニズムの推定

#### ①各種貯蔵試料の褐変指標と香気成分の相関解析

りんご研において栽培・貯蔵し、3月に大気冷蔵貯蔵に移行した試料について、5月以降経時的に搾汁液を調製し、その香気成分を分析した。同一サンプルについて課題I-4で取得した褐変面積指数や達観による判定と香気成分50種の面積値の相関からバイオマーカーのスクリーニングを実施した。その結果、褐変の進行期には褐変面積率とメチルエステル類のピーク面積には有意な相関 (FDP-P<0.05) が認められた。

2015年産のふじCA貯蔵果 (各種, 計約70個) について、上記のように抽出された候補成分メチルエステル類を分析したところ、達観での被害の有無との関連が認められた (図1)。

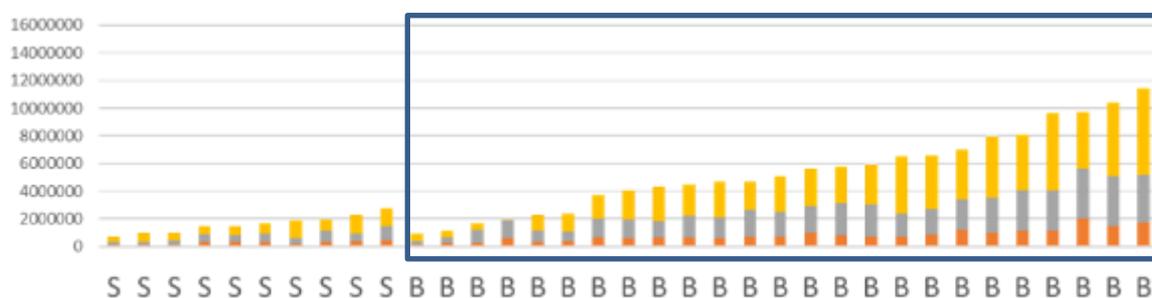


図1 果肉褐変の有無とメチルエステル発生量

メチルエステルの基質となるメタノールの給源の候補である細胞壁ペクチンからメタノールを遊離する酵素（PME）遺伝子（*MdPME2*）とメチルエステルとの関連を解析したところ、褐変果よりも非褐変果で相関が高い傾向があったことから、PMEが関与するとすれば、目に見える発症より前に遺伝子が動いている可能性がある。ここで対象とした遺伝子以外のPME遺伝子およびPMEi遺伝子、細胞膜の損傷に関連する遺伝子等の解析の必要性が示唆された。

②揮発成分マーカーの代謝経路の推定

①において、褐変程度：甚・軽微・無の試料6点を選抜した。褐変個体は褐変部周辺より果実試料を得た。試料は液体窒素により凍結させ、RNA-seq解析に供試した。褐変が僅かに出始めた個体、褐変が明瞭に出た個体の両方において、正常果と比較して有意に発現上昇していた遺伝子を抽出した。RNA-seq解析に供した。

酸化酵素、細胞壁の生合成酵素、リグニン合成酵素、およびそれらに関連する転写因子に、褐変の進行に応じて顕著な発現上昇が見られた。褐変個体に特徴的なメチルエステルの生成には、ペクチン等の細胞壁における代謝によって生じるメタノールと、酸化酵素による脂質の酸化で得られる分解産物が関与すると推測された。

(2) リンゴにおけるみつ入り果の香気特性

みつ入りリンゴの「おいしさ」はよく知られているが、リンゴの分析値からは好まれる理由は謎であった。そこで、官能評価と香気・呈味成分のプロファイルの統合解析によりこのメカニズムを解析した。

同一の生産者からみつ入り・みつ無しの「ふじ」を入手し、熟練パネルによる官能評価を実施した。ノーズクリップを使って香りの影響を排除して味の強度を評価したところ、両者に有意差は認められなかった。しかし、ノーズクリップを外して香りを含めて評価すると、全体的な香りはみつ入り果で強かった。フルーティ、フローラル、スイートな特性も同様にみつ入り果で強調されていた。また、主観的な嗜好性を併せて尋ねたところ、みつ入り果が有意に好まれた(図2)。

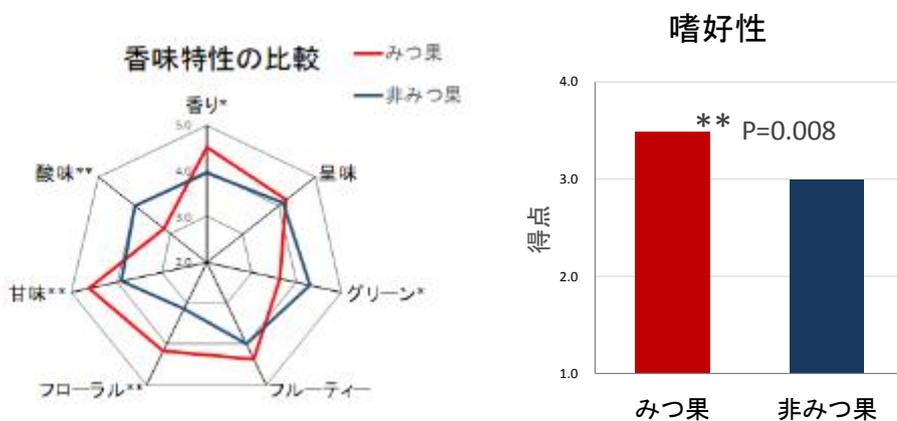


図2 リンゴの官能評価

表1 各種エステルの嗅覚閾値(ppb)

	メチル	エチル	プロピル	ブチル	ヘキシル	
酢酸		5	2000	50	10	
プロピオン酸		35	9	500	200	8
酪酸	10	1	100	100	300	
ヘキサ酸		0.1		700	6400	

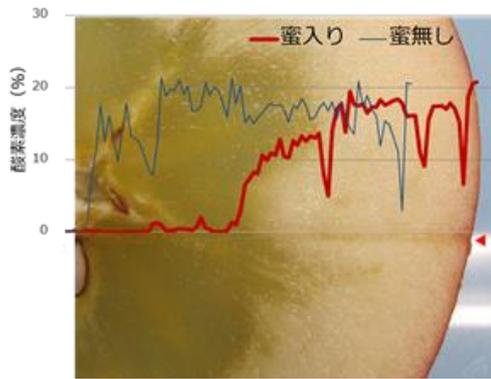


図3 みつの存在部位とリンゴ果肉の酸素濃度  
赤太線は写真個体の酸素分圧曲線。◀はセンサー貫通部位。みつ部位で酸素濃度の低下が確認できる

(3) 無農薬リンゴの香り特性とその形成要因  
国産リンゴで最も生産量が多いふじについて、栽培条件が果実の風味に及ぼす影響を解析した。

試料は果樹茶業試験場で生産した慣行 (ConI) および無農薬栽培リンゴ (Org 1), 青森県内で生産された無農薬リンゴ (OrgF), 岩手県内で生産された減農薬リンゴ (ConF), 市販のふじ (Market) を解析した。

まず、香气成分と水溶性成分についてプロファイリングを行い、主成分分析を行うと、慣行栽培と無農薬栽培では特徴が大きく異なり、慣行栽培でエステル類が多く、無農薬栽培ではアルコールやアルデヒドが多かった。このことから、エステル化反応を触媒するAAT(アルコールアシルトランスフェラーゼ)の阻害が疑われたため、これの酵素の活性に関与するエチレンの発生量を比較した。エチレン生成量はばらつきが大きかったものの、盛岡市産のConFではエチレン生成量の大きい個体が多く、無農薬では少なかった。エチレン発生量と官能評価の第一主成分スコアをプロットすると、両者に極めて高い相関が認められた。

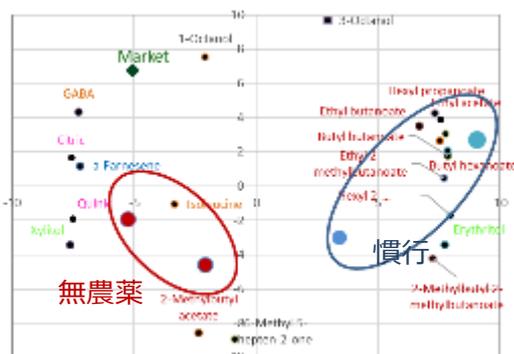


図4 香气成分の主成分スコアプロット

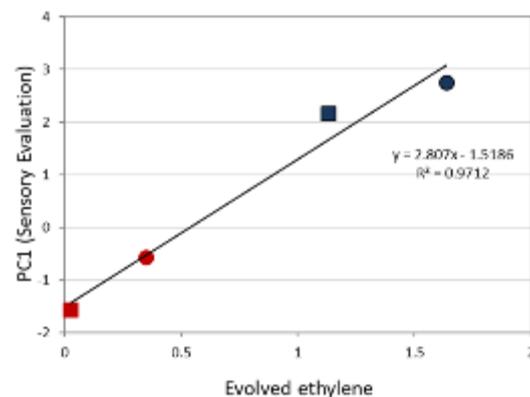


図5 エチレン発生量と官能特性の相関

以上から、無農薬栽培のふじではエチレンの生成抑制が、エステル類の生成抑制につながり、香气プロファイルおよび風味の変化をもたらしていると推定された。特に、収穫期にも未熟な状態が持続したことは注目される。エチレンの生成抑制のメカニズムが未解明で残されている。

### 3) 成果活用における留意点

メチルエステルを簡易にオンサイトで分析している計測器は現在のところ存在しないため、実用には装置の開発が必要となる。

### 4) 今後の課題

果肉褐変について、残された遺伝子発現解析を実施し、発症過程の生理について研究報告

として取りまとめる。また、メチルエステル類が褐変指標と相関するメカニズムについて、遺伝子発現と合わせて取りまとめる。

中課題番号	13406021	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	II-5	研究期間	平成25～29年度
中課題名	国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発		
小課題名	LC/MSによるトマト・リンゴの成分の網羅的成分解析(II-5)		
小課題責任者名・研究機関	庄司俊彦・農研機構 果樹茶部門		

### 1) 研究目的

リンゴの貯蔵期間中の品質評価のためプロシアニジン類などのポリフェノールの分析を行い、貯蔵中に発生する褐変障害の評価技術の開発に貢献する。

### 2) 研究成果

- ① 「ふじ」、「王林」などのリンゴの一斉分析のため凍結乾燥試料、果汁の調製を行うことともに、リンゴ中のプロシアニジン量を重合度別に定量した(図1)。
- ② 「ふじ」のCA貯蔵による褐変障害を予測するため、プロシアニジン量の影響を調査し、貯蔵期間で大きな違いは見られなかった(図2)。
- ③ 1-MCP処理による「王林」貯蔵中のプロシアニジン量の影響を調査したが、貯蔵期間で大きな違いは見られなかった。

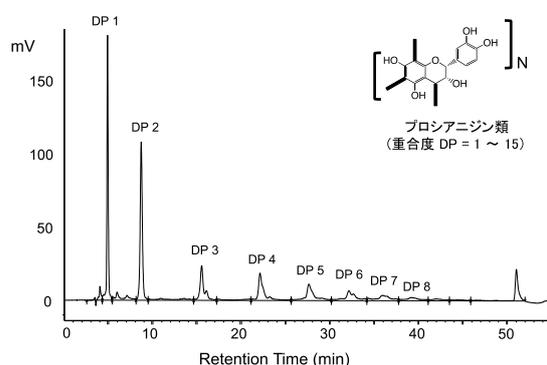


図 1 「ふじ」のプロシアニジン分析

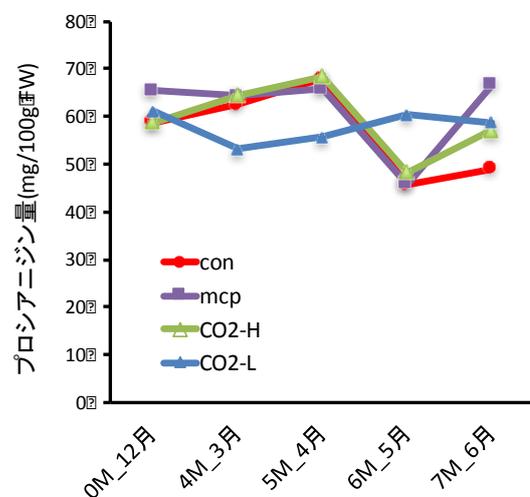


図 2 「ふじ」のCA貯蔵によるプロシアニジン量の変化

### 3) 成果活用における留意点

特記事項なし

### 4) 今後の課題

「ふじ」、「王林」の褐変障害において、褐変の基質となると予測されるポリフェノールの一種であるプロシアニジン量の変化を測定したが、貯蔵期間でサンプル間の大きな違いは見られなかった。LC/MSやNMRから見出された関与成分(クロロゲン酸など)が貯蔵期間中にどのように変化しているのか解析する必要がある。一方、プロシアニジンはリンゴの機能性関与成分であり、非破壊計測によるリンゴ中の解析技術の開発が望まれている。本プロジェクトにおいて検討された技術、研究手法を活用し、プロシアニジンの非破壊検査技術の開発が今後の課題であると考えられる。

中課題番号	13406021	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	II-5	研究期間	平成25～29年度
中課題名	国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発		
小課題名	LC/MSによるトマト・りんごの成分の網羅的成分解析 (II-5)		
小課題責任者名・研究機関	中川博之・農研機構 食品研究部門 庄司俊彦・農研機構果樹茶部門		

### 1) 研究目的

LC/MSにより農産物やその加工品に含まれる成分を網羅的に分析する手法を開発し、高度官能評価や加工適性と関連づけることで、複雑な品質を推定する技術の開発に資するデータを蓄積する。これにより、農林水産物やその加工品の現在評価されていない品質、すなわち潜在的品質を生み出す成分やその組み合わせを発見し、新しい評価パラメータを作出する。

### 2) 研究成果

リンゴ（ふじ）について、貯蔵時に発生する内部褐変予測の指標となる因子を探索したところ、2因子（特許性があるため、因子の詳細は非公開）が内部褐変発生の予測に有効である可能性が示唆された。平成28年度と平成29年度に分析を行ったリンゴ試料のLC/MS分析結果に当てはめたところ、褐変予測の誤判定率はそれぞれ7.1%（平成28年度）と20%（平成29年度）であった。

トマトについて、代表的な官能評価項目に高い相関性を示す因子の絞り込みを行ったところ、「うま味」、「土の匂い」、「青臭い匂い」、「甘み」の官能評価項目おいていずれも「フェニルアラニン」が関与することが示唆された。特に「青臭い匂い」との相関性は平成29年度に分析したぷちトマトと大玉トマトさらには、平成25年度に提供されたトマトジュースでも観察されたことから、「フェニルアラニン」は品質推定マーカー化合物としての利用が期待される。トマトの「うま味」にはグルタミンが寄与するという通説と異なる結果であり、潜在品質の一端が明らかにされたと考えている。

### 3) 成果活用における留意点

リンゴの褐変予測指標として2化合物が検出されたが、実際の試薬標品を使った定量分析による裏付けはできていない。トマト試料における「フェニルアラニン」の存在は試薬標品との比較で確認したが、定量分析による裏付けは未実施である。

### 4) 今後の課題

リンゴやトマトの潜在品質成分として検出された化合物についての試薬標品を使った定量分析（非破壊分析、LC/MS分析）による裏付け。

中課題番号	13406021	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	II-6	研究期間	平成25～29年度
中課題名	国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発		
小課題名	NMRによるトマトの網羅的成分解析 (II-6)		
小課題責任者名・研究機関	根本直・産業技術総合研究所		

### 1) 研究目的

農産物やその加工品の品質を多面的に評価するためには、検出する全ての成分を一度に捉えて、品質に関わる成分を統計的に解析するノンターゲット分析法が適している。核磁気共鳴 (NMR) 法によるメタボリックプロファイリング(NMR-MP)では、果汁あるいは粗抽出物を未精製のまま計測し、得られたスペクトルに含まれる上位構成要素を化合物プロフィールとして包括的に把握することにより、今まで見過ごされていた因子やメカニズムを提示することが可能であり、方針決定や標的試料の選定が可能となる。

そこで、本研究課題では野菜の代表として、品種が多く、基礎的知見が蓄積されているトマトを対象とし、NMR-MPのための試料調製法、NMRの測定条件、データ処理法等の標準技術を開発し、成分を網羅的に解析し、他の機器分析データや品質評価データと関連づけることで、隠れた品質に関わる因子をあぶり出し複雑な品質を推定する技術を開発する。

### 2) 研究成果

#### (1) トマト果汁のNMRスペクトル取得方法の確立

産総研に設置されている500MHzNMR装置 (BrukerBiospin Avance III型分光計に5mm径TXI検出器を装備) を利用して測定条件の検討を行った。各種磁場ロック用重水含有のリン酸緩衝液 (pH6.98-7.41)、酢酸緩衝液(pH4.1-5.6)、Kpi緩衝液(pH7.0, 7.4)および重水のみを検討した。

当然ながら酢酸緩衝液ではアセチル基の信号が高く、それがNMR感度を決めてしまうのでPBS、KPiを利用した。

PBSには内部標準としてまたはDSSを内部標準 (0ppm, 基準面積) として添加した。TSP内部標準は他に信号を出さず、利便性が高いが、pH、塩濃度等で最大0.02ppmほどずれることが知られている。また、酸であることから、高分子特に蛋白質との相互作用で広幅化がしばしば生じるため、トマトの測定ではDSSを内部標準にもちいることとした。内部標準添加量は果汁由来のNMR信号を超えない様に添加量を調整した。

#### 利用緩衝液の調製手順

PBS緩衝液 0.2Mの NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>(pH7.0) およびNa<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>(pH8.52)のストック溶液からそれぞれ28.5ml、121.5mlを混合して、150mlとするとpHは7.41となる。

KPi緩衝液 それぞれ1MのK<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>とKH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>の重水溶液をストック溶液とし、果汁用には125mM (pH7.4) となるように50.125mlと12.375mlを混合し、重水で250mlにメスアップして利用した。トマト果汁1について4容を混合することによりpHは7程度に低下する。トマトジュース測定については100mM KPi緩衝液 (pH7.0) を同様に用いてNMR測定に供した。

それぞれ内部標準を0.1mMから2mM程度となるように、必要があればNaN<sub>2</sub>を添加したが、毒物管理が厳しくなり、NMR試料調製後、氷上に保存しながら即時測定を行なうこととした。

トマト生果の標準的試料調製手順を示す。

- 1) 品種確認 デジタルカメラによる画像記録 (定規を写し込みつつ上下横方向3枚)
- 2) ヘタをとり、純水で洗浄、ペーパータオルで水分を拭き取り重量計測
- 3) 包丁にてヘタのついていた硬い部分を切り取り4等分にくし切りにしてミキサーにかける(家庭用のミキサーを使用) 室温にて10秒。
- 4) 粉碎を確認し、硬度があり不十分の場合はさらに10秒粉碎し、その旨記録する
- 5) 50mlプラスチックチューブ (Falcon Tube) に移して冷却遠心をして上清を得る。(8000rpm, 5min, 12°Cのちに4°C)

トマト品種によって果汁の粘性が高いので、のちに測定溶媒で希釈してから遠心をする方法を標準とした。

6) 上清を回収する。この時、淡黄色の試料となる液体は浮遊物の薄い層と沈殿物の間に存在するので、中層のみを注意深くピペットで回収し、NMR測定試料調製にまわす。

#### 緩衝液とNMR測定条件の決定

トマトの測定にはKPi緩衝液(生果用125mM、トマトジュース加工品用100mM)とDSS内部標準を利用し、トマト生果果汁140  $\mu$ lについて540  $\mu$ l緩衝液と混合し総量700  $\mu$ lから試料量600  $\mu$ lを試料管にうつして測定とすると決定した (5倍希釈)。凍結乾燥試料は10mgにつき緩衝液700  $\mu$ lを添加し、600  $\mu$ lの測定試料を得た。

5mm試料管はシゲミPS-003を基準に使用した。

試用した使い捨てまたは外国産の試料管はスペクトルの線形が良ならず、価格は魅力であるものの使用は避けるべきと結論した。

NMR測定条件は溶媒前飽和法を基本に、NMRの原信号であるFIDの観察と繰り返し時間変化によるスペクトルの状況の確認を経て、以下の様に決定した。

#### データ取得

Bruker Biospin AVANCE-III 500MHz分光計 5mmTXI検出器付き (精密温度調節付き)

測定温度25°C

DataPoint: 32k(complex)

Spectral Width: 12ppm

Scan: 128

DummyScan: 4

ReceiverGain: auto

観測中心は軽水信号、溶媒前飽和法でフリップアングルは90度を用いた。

分光計のソフトウェアTopSpin上で設定した。

シムはできるだけ良い状態まで調整し、溶媒前飽和はできるだけ弱く行った。また試料管の質にも配慮し、できるだけ質の良いスペクトルの取得に留意した。

最初の試料については温度平衡後、Tune/Matchを行ってから3Dシミングを実行し、シムの良さを2スキャンスペクトルの線形で確認し、必要に応じてマニュアルシムも併用した。水消しパラメータは最初の試料で迅速に決めた。その後は温度平衡化後、z軸シミングのみ行い、90度パルスを確認しレシーバゲインの変化等で水消しの状況を監視して試料群からランダムに選んで最終的に全試料を測定することとした。

スペクトルの処理

Window function: Exponential

Zero filling: 一回 (32 k)

FFT後、絶対値微分、バケット積分幅0.04ppm(0.5-10ppm)水信号部分は変数化せず。

これらのデータセットを用いてK-L展開 (PCA) を行い可視化を行なう。

その際、基本的に全積分面積を一定にすることを正規化の基本とし、場合によっては内部標準物質で正規化を行い、定量性を考慮するが、定量にはT1の見積もりが欠かせないため実用性はほどほどであると考えた。全面積一定では濃度変化に比較的強いいため、実用性が高い。その後、特徴空間の探索を変数削除法で行った。

これらは主として日本電子製Alice2forMetabolomeソフトウェアにて行った。

KPi緩衝液と重水のみ (pHのコントロールなし) でもスペクトルに大きな差はなく、トマト解析の便法としては重水希釈のみでも良いかもしれない。また凍結乾燥品については、農研機構の設備にて調製していただいた。

以降の報告は前述のKPi緩衝液5倍希釈DSS内部標準試料とNMR測定条件、処理条件で行なった。

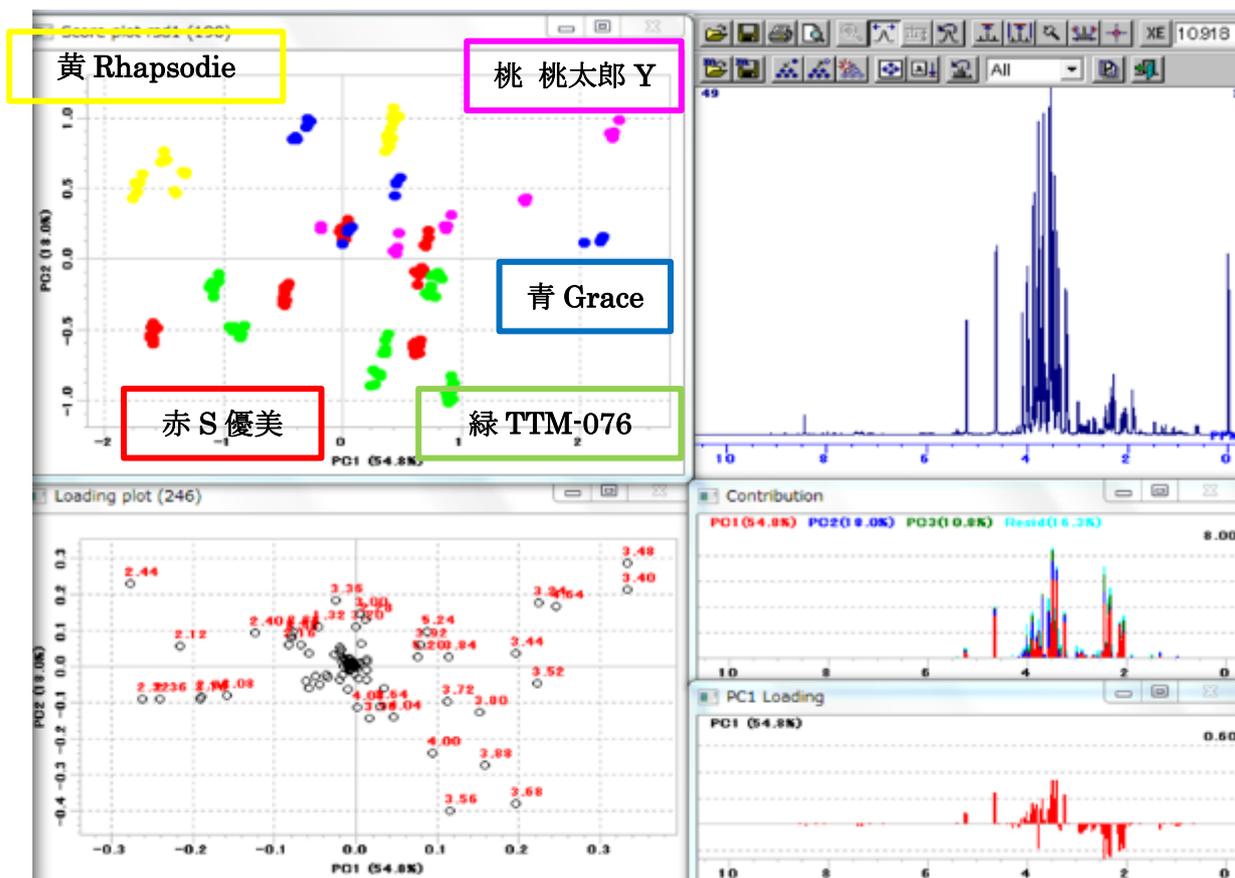
## (2) トマト品種ごとのノンターゲットプロファイリング

桃太郎ヨーク、S優美、TTM-076、Grace、Rhapsodieのトマト生果のスペクトルを取得し、絶対値微分後、バケット積分により数値化 (フルスペクトルで246変数) してK-L展開 (PCA) 散布図を得た。

解析画面を図示する。

それぞれの試料が1データ点として散布されている。

図を見るとそれぞれの品種がクラス形成をしていることが明確である。第一主成分の負荷量をみると糖類 (グルコース、ショ糖) と有機酸 (クエン酸) が逆相関していることが判る。それにより横軸方向に整列している。ごく簡単に述べれば、左方に行くほど酸味が強いはずである。また同一品種でクラス形成が見られるが、これは株や房の同一性を示していると考えられる。特徴空間を構成する分子として有力であるものは、グルコース、グルタミン・グルタミン酸、クエン酸である。



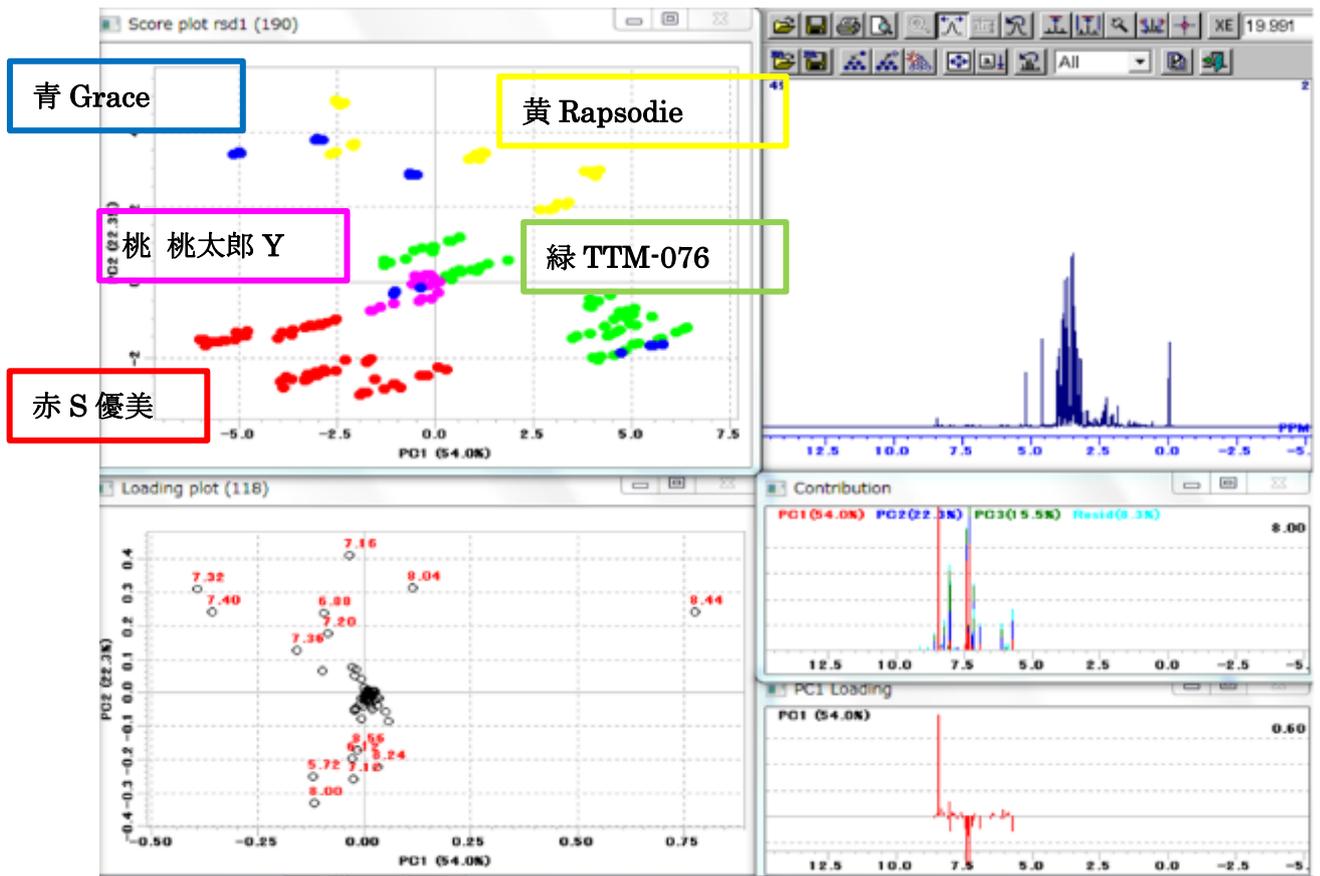
産総研技術である探索解析で特徴選択を行った場合を次に例示する。この場合は、芳香族アミノ酸側鎖およびアルデヒド、ギ酸信号の出る領域（191変数）を選択している。アミノ酸、ペプチド等のイミノプロトンは多量に存在する重水と交換して観測されない。重水を利用した緩衝液は高価であるが、測定が簡単になる上、スペクトルも整理されるので推奨できる。

図を見ると、品種ごとのクラス分離がより明確になっている。これらの特徴づける化合物はフェニルアラニン、タイロシン、ギ酸と考えられる。Graceが広く分布することが興味深い。

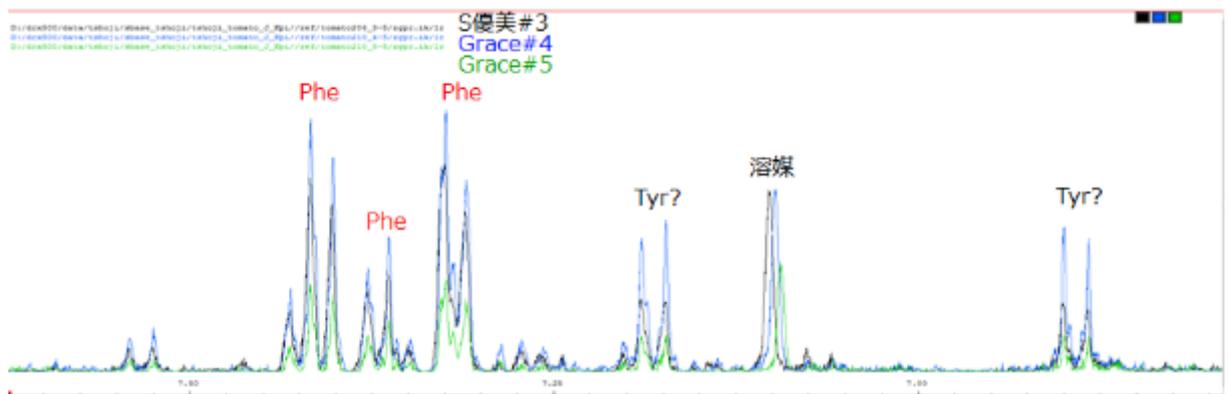
また、NMRは本質的に低感度と言われているが、ダイナミックレンジが広いことも特徴である。スペクトルの積算効率を決めるのはスペクトル中の大きな信号であり、水信号、添加しすぎた内部標準がそれを決めてしまうことは良くない。

それらを溶媒前飽和照射または添加量の加減で試料信号より小さくなるようにすると、目立つのは糖由来の信号である。試料中の高い糖含量はしばしば質量分析で問題になる。質量分析で前述の散布図を見ると、糖信号とクエン酸信号の逆相関が観測されるが質量分析では糖由来の信号が飽和してしまい、逆相関が見られないことが多い。

糖信号についてはNMRスペクトル中で糖信号が現れる部分（3.2-6ppm）の信号を削除することも後からできるので「甘さだけではない」潜在的な特徴を可視化できる。



低磁場部分（アミノ酸とアルデヒド領域）の特徴を選択し、その部分の個別のスペクトルを検討すると散布図の特徴空間でどちらが優位（量的に多い）かが判る。今回の場合は、GraceやRhapsodieがフェニルアラニン量が多い特徴を持つと判明した。

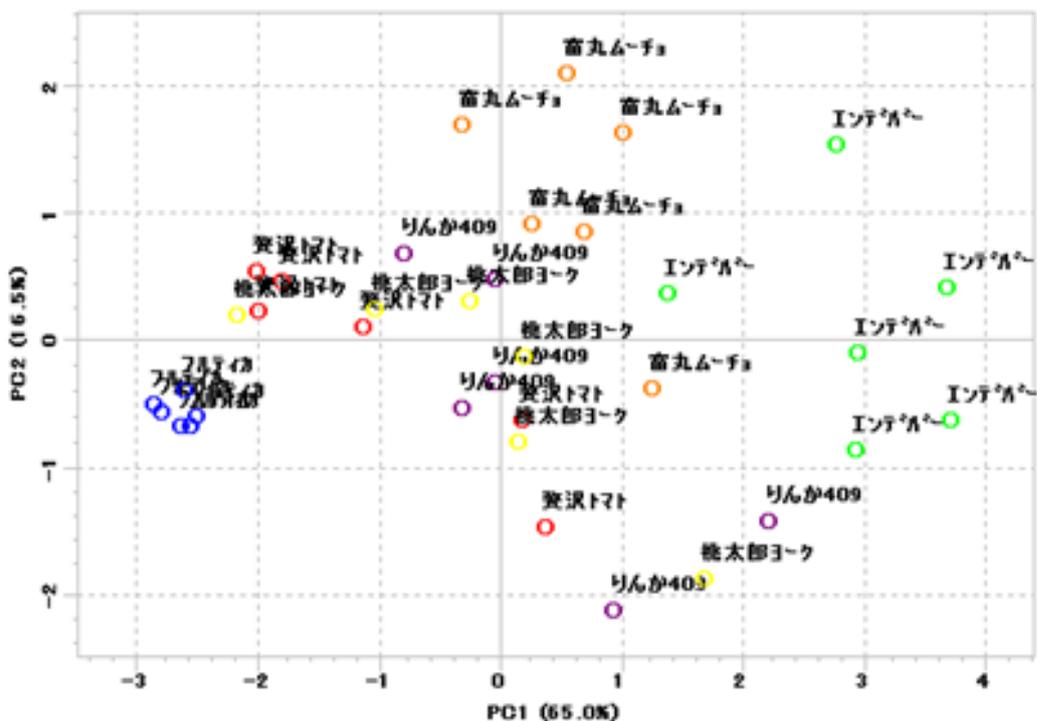


また、各種トマトを散布図としてグローバルプロファイリングを行なうと、ミニトマト試料の散点の蝟集と探索解析により、りんか409の散布域が広い現象に遭遇した。

次の図に示すようにフルティカ種が非常に収束よく分布している。この図をもとに討論を重ね、データの安定性が良さそうである、ハンドリングがし易い、ミニトマト系の市場性が高いなどの観点から主要標的のひとつとしてミニトマト系の検討が開始された。

りんか409のばらつきについては、様々な推測を行ったが、その後の討論で、植物工場の一番外側の畝に「ガードプラント」として植えられていたことが判り、そのためのばらつきという

ことで決着した。

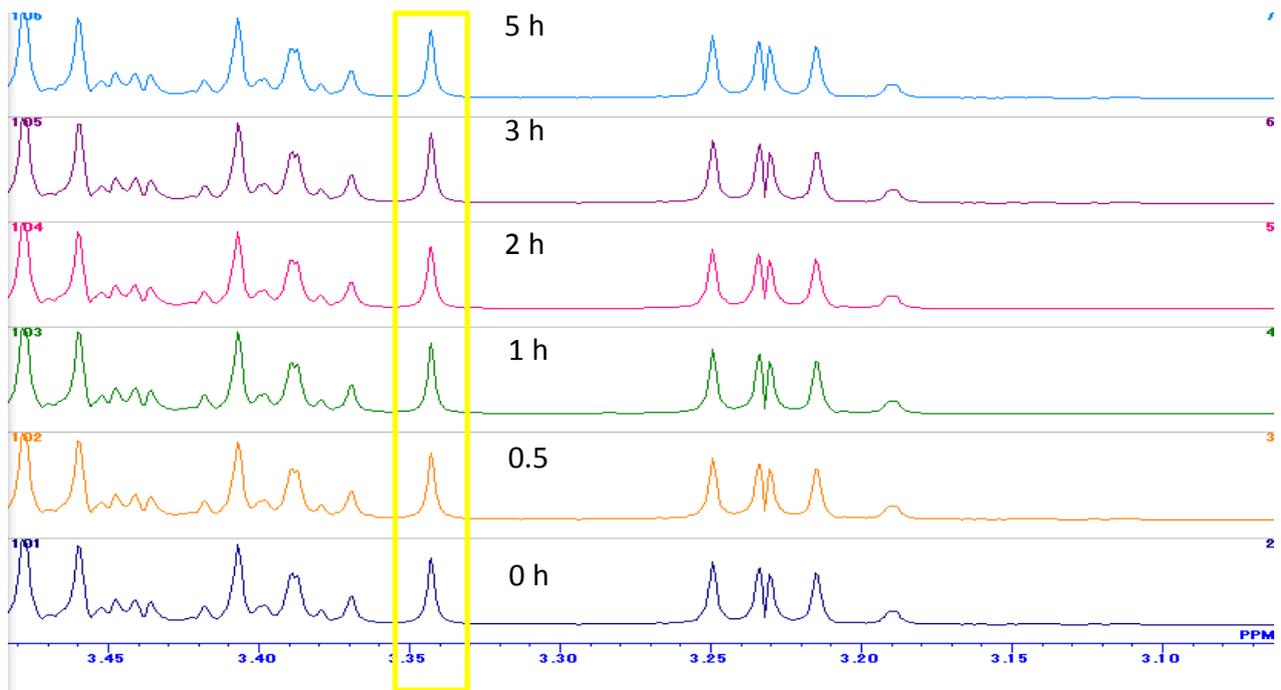


この散布図で右方向に特徴空間を構成しているのはメタノールである。メタノール信号を変数から削除するとエンデバーは中程に入り込み、かわってりんか409の広い散布域が生じた。メタノール信号は次項で述べる加熱マーカー分子でもあると考えているが、エンデバー種で特徴的なことは興味深い。

### (3) トマト加工品（トマトジュース）と生果の違いを意味づける特徴

トマトジュース加工品では、細胞壁のメトキシ修飾が加熱処理で脱離したと思われるメタノール信号が観測される。キッコーマン社より加熱時間のことなるトマトジュース製品（ナガノトマト信州生まれストレート果汁）の提供を受けてNMRスペクトルによる簡易定量（面積比較）を行った。0hは通常の生産時であり、それを更に加熱処理を行っている。

スペクトルのメタノール信号該当部分を黄枠で囲んだ図を次にしめす。



他の信号と比較して、黄枠のメタノール信号が特に変化しているとは言えない。そこで、内部標準物質DSS (1mM)の面積を1として比定量を行った結果を次に表に示す。

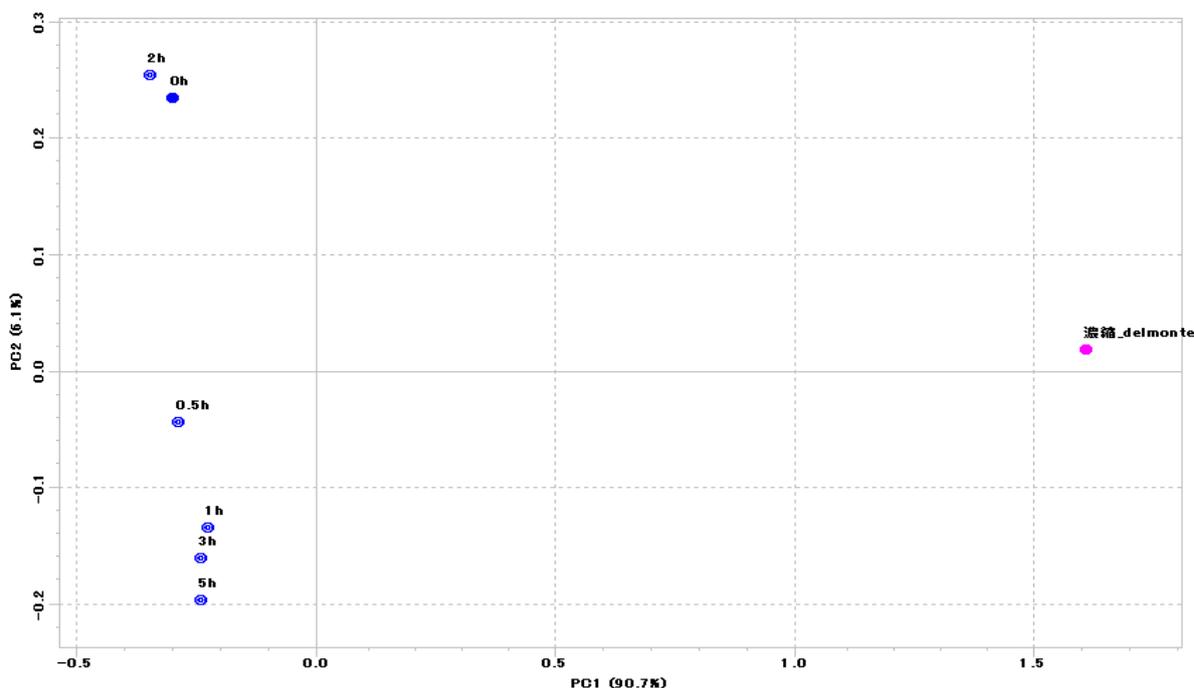
NO.	1	2	3	4	5	6
sample	ナガノトマト 信州生まれのおいしいトマトジュース					
-	ストレート					
加熱時間	0h	0.5h	1h	2h	3h	5h
保存期間	0day	-	-	-	-	-
DSS (内標) 面積値	1 (1mM)					
MeO-面積値	0.28	0.28	0.29	0.28	0.3	0.29
NO.	7	8	9	10	11	12
sample	ナガノトマト 信州生まれ			デルモンテ	伊藤園	長野興農
-	ストレート			濃縮還元		
加熱時間	-	-	-	-	-	-
保存期間	30day	60day	90day	-	-	-
DSS (内部標準)	1 (1mM)					
MeO-面積値	0.28	0.29	0.3	0.01	0.01	0.03

この結果からも5時間におよぶ加熱でもメタノール信号は変化しないと確認できた。また製品の状態での保存によりメタノールの変化を確認したが、変化はしなかった。その一方で、濃縮果汁還元製品は製造者にかかわらずメタノール含量が低い。これは製造時濃

縮過程で揮発性の高いメタノールが失われたためと考えられる。

メタノールは加熱時に細胞壁のメトキシ基の脱離によって生じ、一定量を超える事は無く、加熱指標とはなるが加熱時間指標とはならないと結論した。

参考までに全スペクトル中に加熱時間指標となる信号成分の有無を保有技術であるアウトライヤ・インジェクション法で確かめてみた。



アウトライヤとして、濃縮果汁還元のキッコーマン (デルモンテ) 製品をモデルに追加すると、上から、2h、0h、0.5h、1h、3h、5hと整列した。この場合の縦方向の寄与率は6.1%であり、2hの散布位置を除くと、加熱時間順に整列しているとも言える。しかしながら加熱指標のメタノールは加熱時間にかかわらず一定であることが分かっており、加熱時間指標を追跡することは得策では無いと考え、「スペクトル中には加熱時間指標となる変数が潜んでいる可能性がある」と考えるにとどめた。

#### (4) 特徴再構成法

混合物をそのまま包括して全体として解析することができる本手法を利用して、より特徴量を強調することができるのではないかと着想し、特徴軸再構成法を考案した。以下にその方法の概略を述べる。

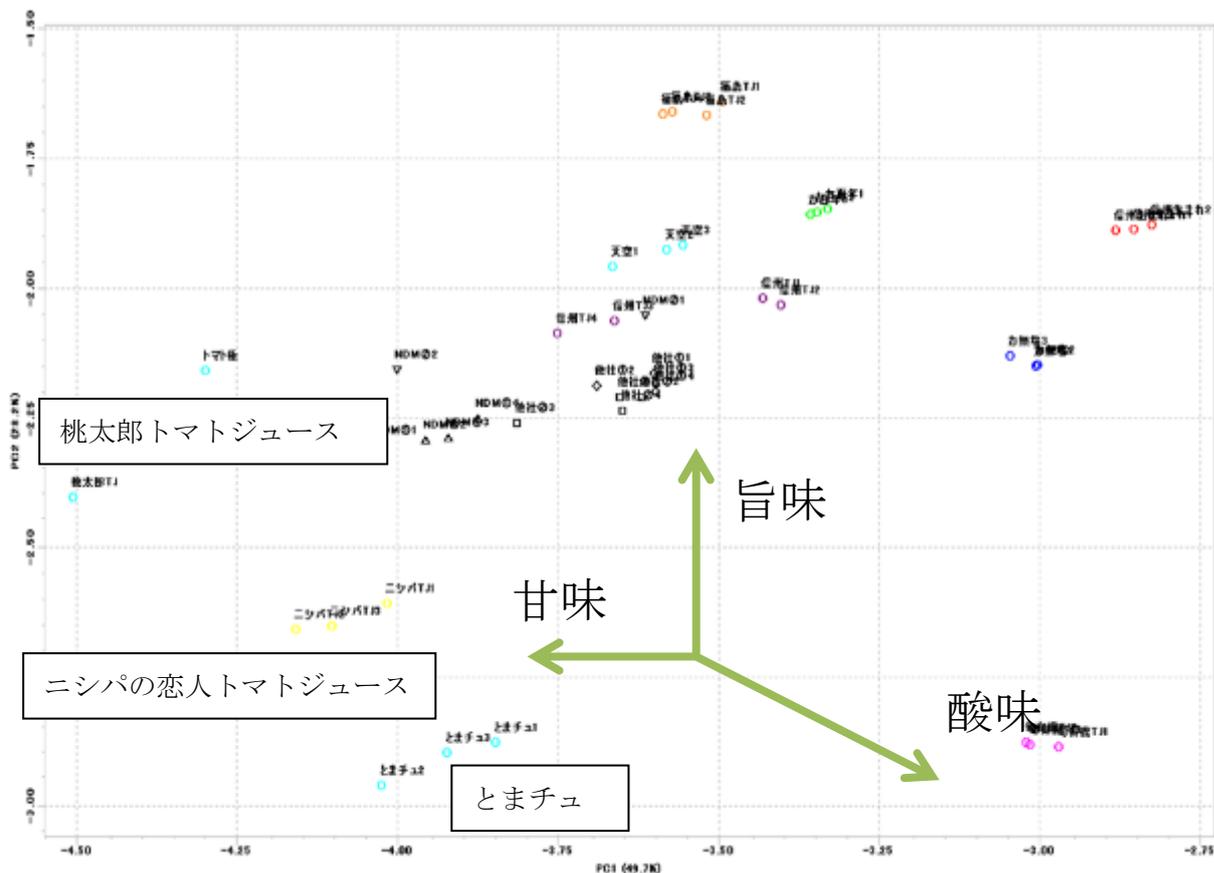
いままで多数の品種を繰り返し測定してきたが、そのなかでトマトを特徴づける言葉は、甘み、酸味、旨味の3種であり、あとは、表皮の厚みや香気、抗酸化性といったNMRでは直接計測できないものによって記述されている。

NMRスペクトル上で甘みの特徴づけるのはショ糖、ブドウ糖、果糖であり、部分構造にはいずれもブドウ糖を持つ。

酸味ではクエン酸が目立ち、旨味ではグルタミン、またはグルタミン酸が重要と言われている。

そこで、特徴空間が多次元の無名数であること、NMRスペクトルでは主としてSN比に対するダ





特徴軸の牽引によって同じ桃太郎系であっても、酸味寄りと旨味寄りの製品があるように見える。またいささか見づらいが、旨味、甘み軸に近いところにある△▽は試作品である。どのようなバランスの位置に来るのかNMR測定によって客観的に提示されていることは重要である。

このように提示されれば、消費者が製品を選ぶ時に、相対的ではあるが、一つの客観的な指標となると考えられる。植物工場由来、キッコーマン社、オイシックス社ご提供の試料など、測定したものについて特徴軸で強制的に整理させたものを提示できて討論が出来た。

特徴軸で牽引して特徴空間を再構成する時の、その妥当性については今後のさらなる検証が必要であるが、本プロジェクトで終了時点でわかったことは、

- ・少なくとも対応する化合物の信号の強弱（存在量）は反映している。
- ・ショ糖、マルトース、果糖、グルコースなどの構造に共通性のある化合物の組み合わせでは信号の重複部分により試料信号の強弱を反映しないアーティファクトが出る。
- ・アーティファクトについては信号の重複する部分の変数を削除することで軽減ができる。
- ・特徴軸を構成する部分の変数を、スプレッドシート上で係数を30～50倍の値をいれた疑似データを利用しても実現可能である。この場合、たとえば糖の独立したアノメリックプロトンだけに係数を掛ける操作してもうまくいかない。化合物がもつケミカルシフト分布の多重供線性の効果と思われる。信号が生じるセルすべてについて操作を行なうことで類似した試料散布図が得られる。

#### まとめ

本プロジェクトではNMRによるグローバルプロファイリングは支援技術・可視化技術として、多変量解析と特徴選択を鍵とする「統計的パターン認識」の技法をトマトの解析に持ち込み、

測定、解析の方法を確立することができた。

この解析により、より全体的な議論の活性化に寄与したとも考える。

特徴量を変数選択によって見出すという概念は本プロジェクト終了時点では参加者の間では常識となったと感じる。

標的選定法としてミニトマトへの試料の変化を支援し、試作品の散布状況の特徴から、商品化が有望と思われるものを特定していく支援が出来た。

商品化については時をまたねばならないが、まさに潜在的な品質を可視化して、価値を再認識することが出来たものとする。

以上により、目的を十分に達成することが出来たと考えている。

### 3) 成果活用における留意点

メタノールがトマトおよびトマトジュース中に存在することは、配慮した方が良い。トマトおよびトマトジュースの長い食経験から言っても問題の有る量であるとは思えないが留意しておくべきだと考える。

特徴軸牽引法による再提示は、個々の品種、商品の優劣を表すものではなく、その特徴の一面を強調して便宜的に提示しているにすぎない。したがって、絶対的価値についての議論は出来ず、またすべきではない。全く同一な特徴軸再構築提示を行った場合であっても、社会的要請等によってその価値は受け手に依存して変化することに留意されたい。

### 4) 今後の課題

中課題番号	13406021	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	II-7	研究期間	平成25～29年度
中課題名	国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発		
小課題名	NMRによるりんごの網羅的成分解析(II-7)		
小課題責任者名・研究機関	関山恭代・農研機構 食品研究部門		

## 1) 研究目的

核磁気共鳴 (NMR) 法による成分プロファイリングでは、果汁あるいは粗抽出物を未精製のまま計測し、得られたNMRスペクトルに含まれる主要成分群を包括的に把握 (成分プロファイリング) することができる。本実施課題では果実の代表としてりんごを対象とし、核磁気共鳴 (NMR) 法による成分プロファイリングのための試料調製法、NMRの測定条件、データ処理法等の標準技術を開発し、成分を網羅的に解析し、他の機器分析データや品質評価データと関連づけることで、隠れた品質に関わる因子をあぶり出し複雑な品質を推定する技術を開発する。また、「ふじ」の貯蔵障害である内部褐変の発生予測技術の開発を目的とし、褐変に関係する成分群とその変動を明らかにするとともに、非破壊 (選果機) データによる内部褐変予測モデルをサポートするデータを取得する。

## 2) 研究成果

### (2-1) NMR法を活用したりんごの成分プロファイリング法の開発

本課題の前半では、つくば市内で購入したりんごを用いてNMR法によるりんごの成分プロファイリング法の開発を行った。使用した具体的な試料は、青森県産ふじ、王林、ジョナゴールド、およびニュージーランド産ふじ、ジャズ、エンヴィの6品種である。ふじは、青森県産とニュージーランド産の両方を用意した。果肉凍結乾燥粉末を重水素化リン酸緩衝液に懸濁し、加熱抽出後に遠心分離した上澄の<sup>1</sup>H-NMRスペクトルを測定した。主要な糖シグナルに由来する変数を削除し、主成分分析を実施すると、PC2方向に産地の違いによる分離が見られることが分かった (図1)。ニュージーランド産のりんごを特徴づける成分は2-メチルリンゴ酸であり、一方、青森県産りんごを特徴付ける最も重要な成分は、1.26 ppmの未同定シグナルであった。この1.26 ppmの未同定シグナルは、過去の論文におけるりんごのNMRスペクトル上で検出されているものの、ずっと未同定のままであったため、精製して構造解析を行った。

この未同定シグナルは、NMRスペクトルより糖アルコールであることが予想されたため、活性炭カラムクロマトグラフィーにより精製した。図2Aが青森県産ふじ抽出物の<sup>1</sup>H-NMRスペクトルで、2Bが各フラクションのスペクトルである。この様に、構造の当たりを付けて精製法を選べることは、NMR法を活用する最大のメリットである。1.26 ppmのシグナルが大きく出るフラクションを集めて構造解析を行ったところ、図2Cに示すL-ラムニトールであ

ることが分かった。産地の違いによる代謝プロファイルの違いについては、栽培地の環境や栽培方法、貯蔵期間、流通過程など様々な要因が考えられる。以上により、本課題においてNMR法によるりんごの成分プロファイリング法が開発された。これらの各種要因と代謝物との詳しい相関関係の検討が行えれば、将来的には産地特有の風味の科学的解明などにもつながる可能性がある。

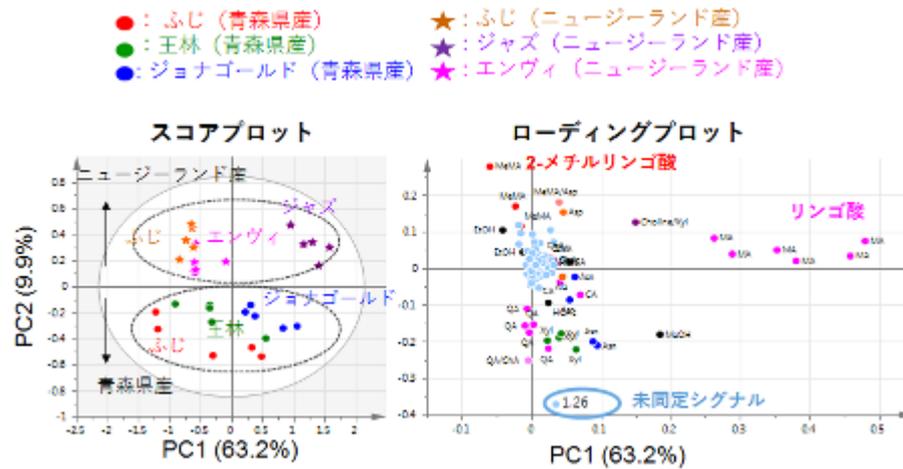


図1. 産地の異なる市販リンゴの<sup>1</sup>H-NMRスペクトルを用いた主成分分析。

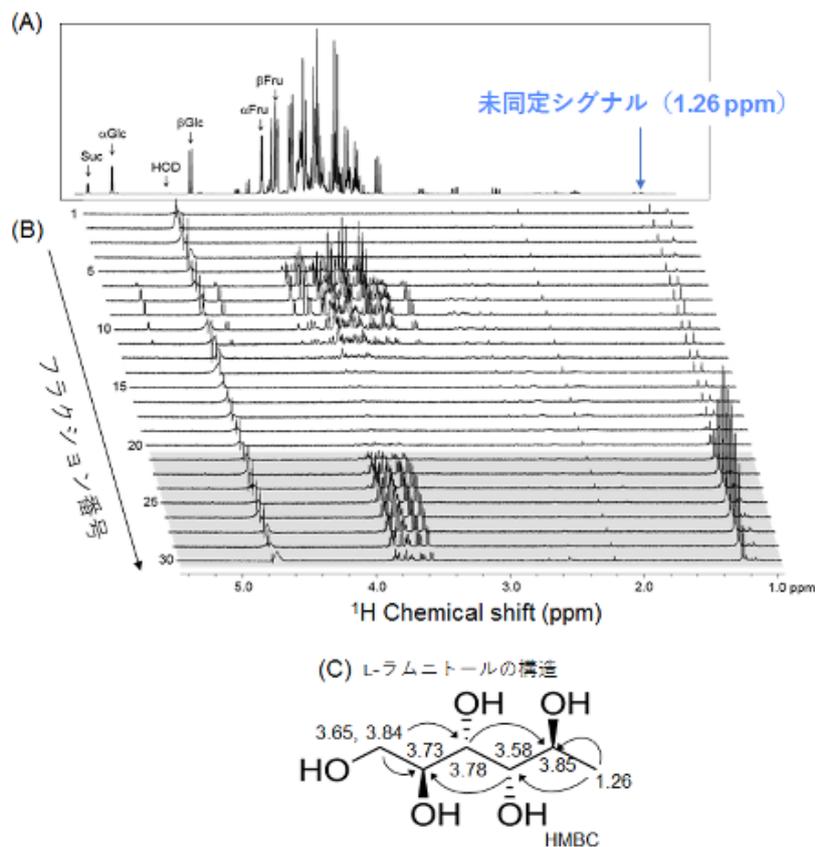
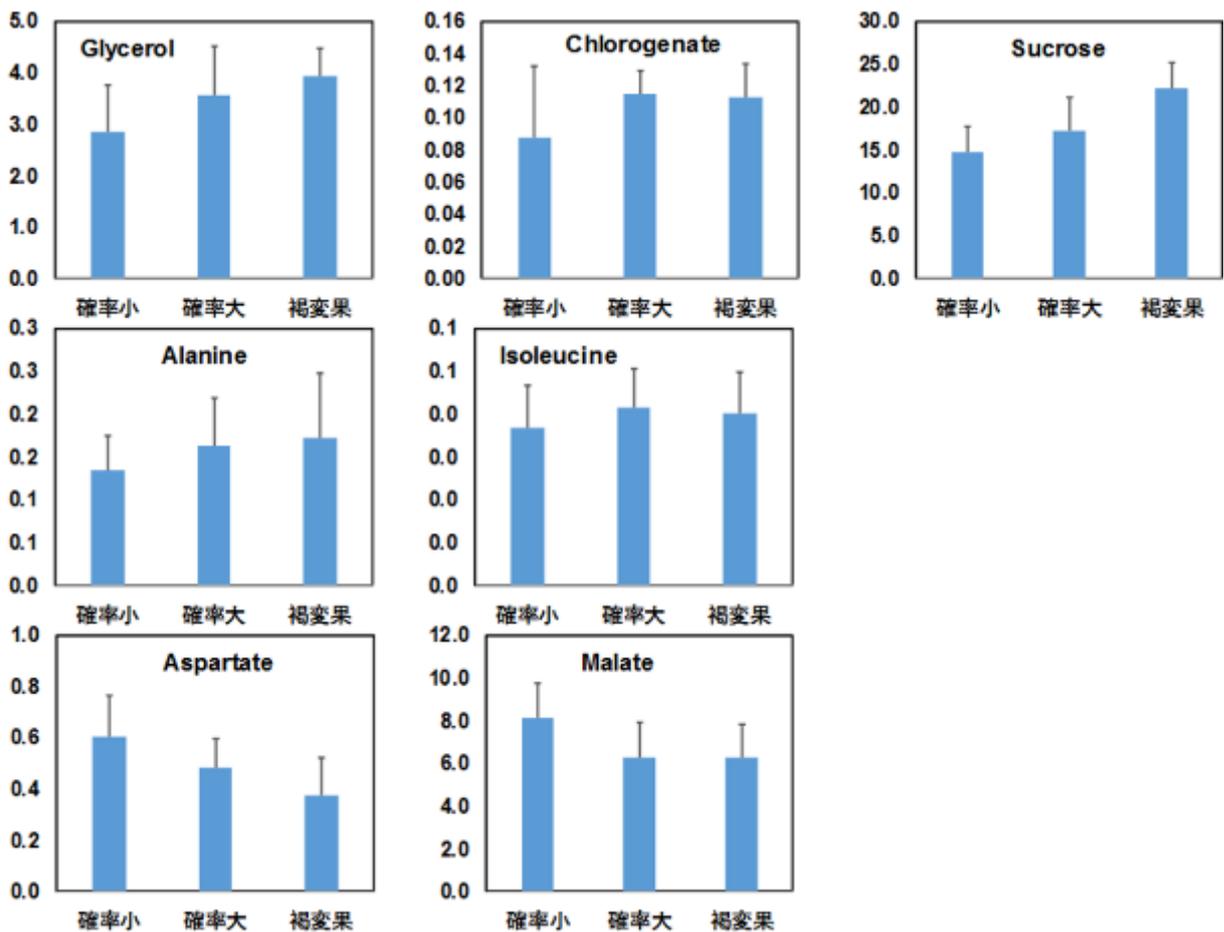


図2. 青森県産リンゴを特徴づける未同定代謝物の構造解析。(A) 青森県産ふじ抽出物の<sup>1</sup>H-NMRスペクトル。(B) 活性炭カラムクロマトグラフィーにおける各フラクションの<sup>1</sup>H-NMRスペクトル。(C) L-ラムニトールの構造。

## (2-2) 非破壊評価にもとづくふじ内部褐変の予測値と関係する成分の解析

本課題の後半では、「ふじ」の貯蔵障害である内部褐変の発生予測技術の開発を目的とし、褐変に関係する成分群とその変動を明らかにするとともに、非破壊（選果機）データによる内部褐変予測モデルをサポートするデータを取得した。具体的には非破壊（選果機）データに基づく褐変予測モデル（課題III-2）において、1月後に褐変する確率が大きい（0.25以上）と予測された果実および小さいと予測された果実について、差が見られる成分を特定した。有意差検定には、Welchのt検定を用いた。図1には、統計的に有意差が見られた成分、およびそれぞれの成分の褐変果における含量を示す。褐変確率の大きい果実には、褐変の際に起こる代謝変化の兆候が現れていると考えられた。その他、褐変確率の高い果実において、貯蔵期間7ヶ月ではアラニンとイソロイシンに増加傾向が見られ、8ヶ月ではクロロゲン酸とスクロースに増加傾向、アスパラギン酸とリンゴ酸に減少傾向が見られた。反射シートを設けた栽培区では、褐変確率の大小による成分の差は見られなかった。一方、慣行栽培区ではアラニン、クロロゲン酸、グリセロールに増加傾向が見られ、アスパラギン酸に減少傾向が見られた。以上により、選果機データで予測した褐変確率の大きい果実では、褐変果に起こる代謝変化の兆候が現れている可能性が示された。NMR法による成分プロファイリングにより、選果機データによる褐変予測モデルを支持するデータが得られた。



### 3) 成果活用における留意点

NMR法による成分プロファイリングで検出される試料の成分特性は、それぞれの試

料の優劣を決めるものではない。

#### 4) 今後の課題

本課題で検出したりんごの内部褐変にともなう代謝変化は、既報と必ずしも一致しない。貯蔵期間や貯蔵条件の違いが一番の理由であると考えられるため、これらが異なる試料については改めて解析を実施し、変動する成分を確認する必要がある。

中課題番号	13406021	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	III-1	研究期間	平成25～29年度
中課題名	国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発		
小課題名	トマトの機器分析データと品質特性データの関連づけ手法の開発 (III-1)		
小課題責任者名・研究機関	福崎英一郎・大阪大学		

### 1) 研究目的

攻めの農業において、産地の差別化とその強化が謳われている。しかし、農産物の市場評価は糖度や酸度、大きさなどごく限られた評価軸に基づいて行われることが多く、多様な成分によって形成される良食味については十分に考慮されているとは言えない。その結果、地域特性や生産者の技量などによって生じる多面的な品質の差別化は困難となっている。この問題を解決するためには、農産物の持つ複雑な品質を簡便に評価する手法の確立が必須である。

農産物やその加工品の品質を多面的に評価するためには、検出する全ての成分を一度に捉えて、品質に関わる成分を統計的に解析するノンターゲット分析法を用いる。しかし、この手法においても、ガスクロマトグラフィー/質量分析 (GC/MS) では香り成分、キャピラリー電気泳動/質量分析 (CE/MS) では有機酸や糖リン酸、アミノ酸などの水溶性イオン性化合物、近赤外分光法 (NIR) や核磁気共鳴分光法 (NMR) では多量に存在する成分というように、測定可能な成分に制限がある。

そこで、本研究課題ではNMRやGC/MS, CE/MS, LC/MSにより農産物やその加工品に含まれる成分を網羅的に解析したデータと高度官能評価や加工適性データの関連づけを行い、複雑な品質を推定する技術を開発する。これにより、農林水産物やその加工品の現在評価されていない複雑な品質、すなわち、潜在的品質を生み出す成分やその組み合わせを発見し、新しい評価パラメータを作出する。また、この評価軸を生産や加工、販売の現場で使用できるようにするため、大量の成分情報を非破壊的に取得できる蛍光分光法や、画像統計変数解析などのデータを用いた評価技術の開発についても取り組む。

本研究では、主として野菜の代表として、品種が多く、基礎的知見が蓄積されているトマトを対象として研究に取り組むが、リンゴのデータ解析を行うチームとも連携して研究、技術開発を進める。

### 2) 研究成果

データ統合法については、一斉分析チームからのスペクトルデータを統合し、複数分析機器データ利用の優位性を示した (図1) ことにより、おおむね目標を達成した。

実験および解析手法：平成25年度提供のトマトジュース15品種について、官能評価QDA法 (Quantitative Descriptive Analysis ; 定量的記述分析法) による44項目の値と6種類の分析機器から得られた各々のデータまたは統合データ (①GCMS\_1 ; 親水性低分子成分/67個, ②GCMS\_v ; 揮発性成分/159個, ③CE ; 有機酸, 糖およびカリウム/5個, ④CEMS ; イオン性成

分、糖リン酸等/191個、⑤LCMS\_1；ポリフェノール等/404個、⑥LCMS\_2；糖、アミノ酸等/617個）とのOPLS解析による予測モデルを構築した。

OPLSによる予測モデルの妥当性はR2（ $0 \leq R2 \leq 1$ ，モデルの精度を表す．1に近いほど予測精度が高い）およびQ2（ $0 \leq Q2 \leq 1$ ，モデルの予測性能を表す．1に近いほど予測精度が高い）で評価した。

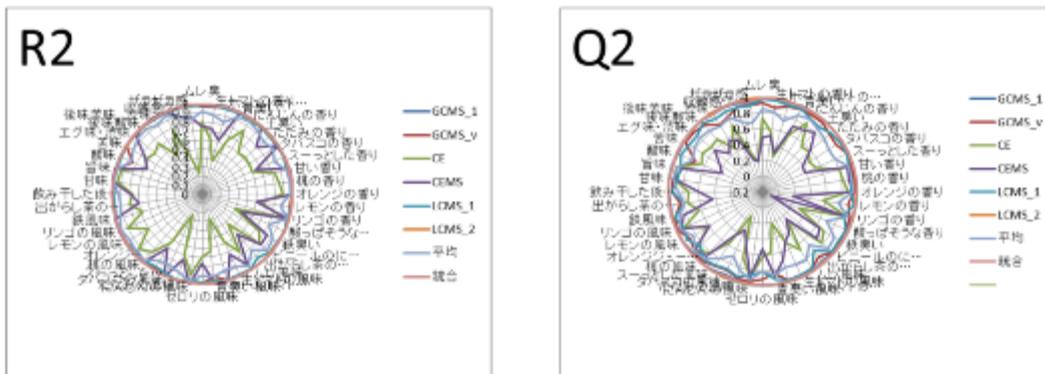


図1：R2およびQ2のレーダーチャート。

各官能評価項目のQDA値と6種類の分析機器から得られた各々のデータまたは統合データとのOPLS解析で得られた、R2（左）およびQ2（右）の値をレーダーチャートで示した。各々のデータと比較して統合データはすべてにおいて1に近い。すなわちモデルの性能が向上することが示唆された。

また、官能評価値については、キャリブレーションを行っていない、試し評価のQDA値の有効活用方法について検討し、各パネリストがつけた官能評価値をパネリスト毎に評価対象物の順位に換算して、差を表現することを試みた。順位換算によって情報量は減少するが、評価対象物の差の表現においては解析品質の向上が示唆された（図2）。当該解析法により試し評価のQDAデータであっても一定のレベルでフードメタボロミクスに運用できる可能性が示された。

実験および解析手法：平成27年度提供のミニトマト8品種について、9名のパネルによる、それぞれ24項目QDA値（各パネリストがつけた官能評価値）をパネリスト毎に評価対象物の順位に換算して、差を表現することを試みた。QDA値および順位のパラツキをRSDで評価したところ、順位換算をしたほうがRSDが小さくなる傾向がみられた。

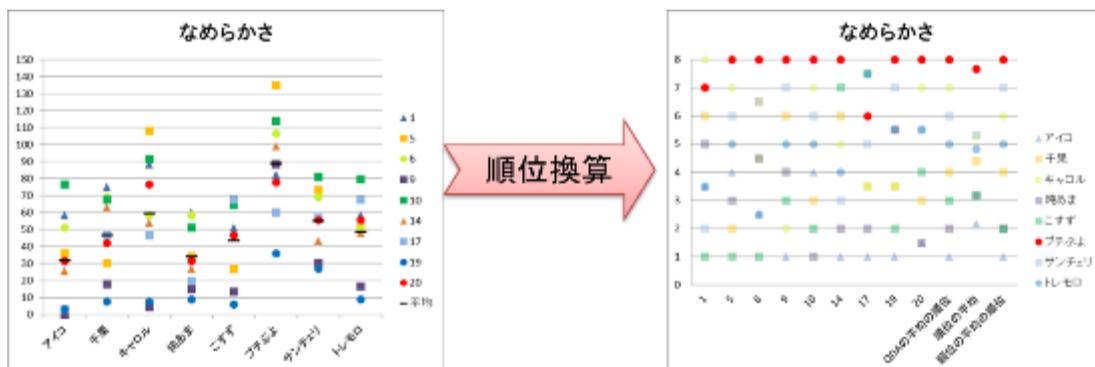


図2：官能評価項目「なめらかさ」の例。

左：縦軸は官能評価値。横軸は8種類のミニトマト。各点は各パネリスト（番号が個人を示す）がつけた値。

右：縦軸は順位．横軸は各パネリスト（番号が個人）．各点は8種類のミニトマトの順位．

以上の結果から，当初計画の最終目標である「複雑な品質を推定する技術を開発」については，データマイニングという観点からは，おおむね達成できた．

### 3) 成果活用における留意点

複雑な品質を推定するには，目的と研究デザインが重要となることが改めて浮かび上がった．複数の研究者，研究機関が関わる場合，サンプリングの方法や分析手法，スケジュール管理などについて，密に連絡を取り，目的に応じたデータを取得することが肝要である．

### 4) 今後の課題

データマイニングという観点からの本研究課題の成果を踏まえれば，さまざまな農産物や加工食品において，品質評価指標となるマーカー成分についてのさらなる知見の蓄積が可能となるであろう．

中課題番号	13406021	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	III-2	研究期間	平成25～29年度
中課題名	国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発		
小課題名	スペクトル系データと品質特性データの関連づけ手法の開発 (III-2)		
小課題責任者名・研究機関	蔦瑞樹、亀谷宏美・農研機構 食品研究部門		

### 1) 研究目的

本研究開発においては、生鮮農産物やジュース等の加工品に含まれる成分に関して特定の検出対象を定めることなく網羅的に分析（メタボローム解析）し、得られた膨大な機器分析データと既知の品質評価データ（官能評価、加工特性等）とを関連付けてマーカーとなる成分群を探索し、さらにマーカー成分あるいは品質特性そのものを非破壊かつ迅速に測定技術の開発を目指している。

本実施課題においては、近赤外分析、蛍光指紋、ラマン分光スペクトル等の非破壊測定で得られたスペクトルデータと品質評価データの関連づけを行うデータマイニングを実施し、非破壊・迅速な品質評価技術の実用化に必要なデータ解析技術を確立する。また、トマトについては、データマイニングの基礎データとなる蛍光指紋およびラマン分光データの計測も実施する。合わせて、得られたデータを統合解析する立場から、本研究開発の出口である非破壊・迅速測定技術の開発に必要な情報が得られるよう、最適な実験系の設計について助言を行う。加えて、データマイニングを用いた潜在品質の抽出法や評価技術の開発方法について提示する。

### 2) 研究成果

#### りんご

「ふじ」「王林」について、果皮の蛍光指紋と多変量解析を組み合わせることにより、1-methylcyclopropene (1-MCP)処理の有無を判別できることを明らかにした。また、果皮のラマン散乱スペクトルを利用して、対応する部位の褐変発生を検出できる可能性を示した。さらに、2年間続けてJA津軽みらいの選果機による内部透過スペクトル取得を行い、スペクトル取得から1ヶ月後の褐変発生予測を試みた。その結果、年度によらず90%程度の確率で褐変発生を予測できることが明らかとなった。

#### トマト

トマトジュースについて、蛍光指紋と多変量解析を組み合わせることにより、官能評価得点を推定可能なことを示した。また、ミニトマトのラマン散乱スペクトルに、カロテノイド類に由来すると思われる品種特有のパターンがあることを見出した。さらに、ミニトマトについて、近赤外分光スペクトルを用いて「かたさ」、「イチゴの甘いにおい」といった複数の官能評価得点を同時に推定すること、また推定結果を利用して品種の特徴を示すレーダー

チャートを作成できることがわかった。

### 3) 成果活用における留意点

本課題で得られたりんごの内部褐変発生予測やミニトマトの官能評価得点推定等の成果は、年度や品種が限定された試料に基づいている。また、用いる装置や多変量解析のアルゴリズムによって結果が変わることが想定される。そのため、実用化に際しては、現場で検査対象となる品種を幅広く集め、現場で用いる測定装置でデータを取得し、同じような結果が得られることを確認する必要がある。

### 4) 今後の課題

りんごの褐変発生予測に関しては、JA津軽みらいの選果機は毎年収穫前にメンテナンスを実施しており、年度によって装置の感度や波長特性が昨年度と異なっていた。そのため、異なる年度のデータを統合して解析することができなかった。また、装置の感度は保有者の意向で低めに設定されており、波長条件によっては大きなノイズが観察された。現場実装に向けては、装置感度の最適化と、年度をまたいだデータ統合・解析による予測精度の向上が課題である。

ミニトマトの官能評価得点推定及びレーダーチャート作成に関しては、官能評価結果の推定が可能となったものの、推定の相関係数が0.9~0.8程度であり、必ずしも精度が保証されているわけではない。更なる産地の違いや経年変動等を考慮したサンプリングと、モデルの再構築が課題である。

成果等の集計数

課題番号	学術論文		学会等発表(口頭またはポスター)		出版図書	国内特許権等		国際特許権等		報道件数	普及しうる成果	発表会の主催(シンポジウム・セミナー等)	アウトリーチ活動
	和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得				
13406021	2	2	13	2	4	0	0	0	0	0	0	1	8

(1)学術論文

区分: ①原著論文、②その他論文

整理番号	区分	機関名	タイトル	著者	掲載誌	巻(号)	掲載ページ	発行年	発行月
1	②	農研機構	NMRIによる実践的な農業メタボロミクス研究に向けて	関山恭代、池田成志、富田理	化学と生物	55(6)	392-399	2017	6
2	①	立命館大学、農研機構、青森県産業技術センターりんご研究所、東京大学	Estimation of Subjective Internal Browning Severity Ratings for Scanned Images of Fuji Apples	Matsubara Kazuyaほか	Food Science and Technology Research	23	545-549	2017	7
3	①	農研機構 キッコーマン株式会社	ESRスピントラップ法によるトマトジュースの活性酸素消去能評価	亀谷宏美, 庄司俊彦, 小田切雄司, 小幡明雄, V. Trivittayasil, 蔦瑞樹	日本食生活学会誌	27(4)	267-272	2017	4
4	①	農研機構	Classification of 1-methylcyclopropene treated apples by fluorescence fingerprint using partial least squares discriminant analysis with stepwise selectivity ratio variable selection method	V. Trivittayasil, 蔦瑞樹, 葛西智, 松尾洋輔, 関山恭代, 庄司俊彦, 相山怜子, 粉川美踏, 杉山純一	Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems	175	30-36	2018	4

## (2)学会等発表(口頭またはポスター)

整理番号	タイトル	発表者名	機関名	学会等名	発行年	発行月
1	太陽光利用型植物工場における長期多段養液栽培トマトの果実品質評価	安藤 聡、野澤 恭子、栗原 弘樹、中野 明正	農研機構	平成29年度日本食品科学工学会中部支部市民フォーラム及び支部大会	2017	12
2	味覚センサーによるトマト食味の品種間差異の評価	趙鉄軍、中野 明正、岩崎 泰永、栗原弘樹、安藤 聡	農研機構	園芸学会平成30年度春季大会	2018	3
3	Flavor characteristics of various colored tomato fruits	Yoko Iijima, Tsuzumi Itamiya, Yumi Iwasaki	神奈川工科大学	第19回アジア地区家政学会大会	2017	8
4	品種および収穫時期によるトマト果実香気のバリエーション	岩崎由美・飯島陽子	神奈川工科大学	第61回香料・テルペンおよび精油化学に関する討論会	2017	9
5	植物食材における品質特性に関わる二次代謝成分の食品分析学的研究(シンポジウム招待講演)	飯島陽子	神奈川工科大学	食品分析学会	2017	9
6	トマト果実の香り成分組成に及ぼす品種および収穫時期の影響	岩崎由美・安藤聡・中野明正・飯島陽子	神奈川工科大学、農研機構野菜花き研究部門	第11回メタボロームシンポジウム	2017	11
7	リンゴ・モモの香り特性はどこから? ~品種・栽培・貯蔵の効果とそのメカニズムを探る~	田中福代	中央農研	日本分析化学会主催第355回 ガスクロマトグラフィー研究会講演会	2017	12
8	リンゴみつ入り果の香味特性 -メタボローム解析、官能評価、遺伝子発現からの解析	田中福代	中央農研	関東東海土壌肥料技術連絡協議会 春季研究会	2017	4
9	リンゴの風味特性と香り成分 ~品種・栽培・貯蔵・みつ~	田中福代	中央農研	寒冷地果樹研究会	2018	2
10	Aroma profiling of synthetic agrochemical-free apples: effects of biotic stress and ethylene	田中福代	中央農研	International symposium of profiling 2017	2017	9

11	貯蔵条件の異なるリンゴ‘ふじ’における褐変の発生とその揮発性バイオマーカーの検索	田中福代 岡崎圭毅 早川文代 葛西智 松原和也 ほか	中央農研 りんご研 果樹茶部門	日本農芸化学会2017年度名古屋大会	2018	3
12	近赤外分光法を駆使した国産農産物の品質評価法の開発(シンポジウム B-2「輸出を見据えた農産物の品質評価技術の開発」招待講演)	池羽田晶文	農研機構	日本食品科学工学会第64回大会	2017	8
13	分光スペクトル法による非破壊品質評価(招待講演)	池羽田晶文	農研機構	第71回日本栄養・食糧学会大会	2017	5
14	紫外-可視-近赤外分光法によるリンゴの酵素的褐変過程のモニタリング	吉村正俊ほか	東京大学、農研機構、青森県産業技術センターりんご研究所	第33回近赤外フォーラム	2017	11
15	長期貯蔵によるリンゴ「ふじ」の内部褐変の分光学的特性	吉村正俊ほか	東京大学、農研機構、青森県産業技術センターりんご研究所、立命館大学	農業食糧工学会2017年次講演会	2017	9

(3) 出版図書

区分: ①出版著書、②雑誌(注)(1)学術論文に記載したものを除く、重複記載をしない。)、③年報、④広報誌、⑤その他

整理番号	区分	著書名(タイトル)	著者名	機関名	出版社	発行年	発行月
1	②	科学と生物(リンゴみつ入り果の官能特性と香味成分プロファイルおよびその形成メカニズム)	田中福代 岡崎圭毅		日本農芸化学会	2017	4
2	②	土づくりとエコ農業(香りに注目:おいしさ研究のトレンド)	田中福代		農文協	2017	8
3	②	日本調理学会誌(香りがリンゴの風味を決定する-香気成分の制御機構と変動事例)	田中福代		日本調理学会	2017	8
4	③	農産物流通技術2017(最新の非破壊品質評価手法)	池羽田晶文		農産物流通技術研究会	2017	7

(4)発表会の主催の状況  
(シンポジウム・セミナー等を記載する。)

整理番号	発表会の名称	年月日			開催場所	参加者数	機関名	備考
1	平成29年度第1回 農研機構植物工場研修会	2017	6	2	農研機構本部	150	農研機構、オイシックスドット大地株式会社	野菜の高付加価値化のための品質に関する技術開発、野菜と人の健康を考える

(5)アウトリーチ活動の状況

当事業の研究課題におけるアウトリーチ活動の内容は以下のとおり。

区分：①一般市民向けのシンポジウム、講演会及び公開講座、サイエンスカフェ等、②展示会及びフェアへの出展、大学及び研究所等の一般公開への参画、

③その他(子供向け出前授業等)

整理番号	区分	アウトリーチ活動	年月日			開催場所	参加者数	主な参加者	機関名	備考
1	①	農産物流通技術研究会 第129回研究例会「海外輸出を目指した次世代選果システムに関するシンポジウム」	2017	7	28	(公財)東京都中小企業振興公社 中小企業会館(銀座) 9階講堂	30	民間企業	農研機構、青森県産業技術センターりんご研究所	課題担当者3名が登壇
2	①	アグロイノベーション2017(セミナー:健康で豊かな食卓提案の重要性)	2017	10	8	東京ビッグサイト	1万人	会社員、主婦、学生、行政等	オイシックスドット大地株式会社	
3	①	平成29年度第1回 農研機構植物工場研修会 野菜の高付加価値化のための品質に関する技術開発、野菜と人の健康を考える	2017	6	2	農研機構本部	100名	研究機関関係者	農研機構、オイシックスドット大地株式会社	課題担当者3名が登壇
4	①	三重県地域活動栄養士連絡協議会での講演	2017	7	10	農研機構安濃野菜拠点	10名	主婦	農研機構	
5	①	食品技術士センター月例会「日本語の食感表現と官能評価」	2017	5	20	協和キリンプラス・清風クラブ	80	食品技術士・食品企業技術者・研究者	農研機構	
6	①	食品品質保持技術研究会「食感表現と官能評価 ～差別化のための評価方法」	2018	3	19	主婦会館プラザエフ	70	食品企業技術者・研究者	農研機構	
7	②	中央農研 一般公開 ニオイってすごいコーナー	2017	7	29	中央農研	750	一般公開参加者(家族連れ)	農研機構中央農研	
8	①	JASIS2017ライフィノベーションゾーン基調講演	2017	9	8	幕張メッセ	300名	会社員、行政、農業従事者、NPO法人、学生等	農研機構	課題担当者2名が登壇