

農産物を清水港から世界へ ～農産物輸出促進に向けた海上輸送試験～

西家 健宏¹

¹ 中部地方整備局港湾空港部 港湾計画課（〒460-8517 名古屋市中区丸の内 2-1-36）

農産物の輸出促進に向けて、廉価な海上輸送の利用拡大が期待される。海上輸送による農産物輸出を進める上で、輸送時における品質維持や輸送工程の最適化が課題である。本稿では、清水港背後圏の農産物をシンガポール港へ海上輸送する試験について報告する。輸送した 98 品目のうち 83 品目（85%）で十分な品質を確保できた。ただし、ナス、オクラ及びキュウリは低温障害、レタス等の葉物野菜やシャインマスカット等の薄皮果実は乾燥による劣化が生じたことから、これらの品目には品質低下防止措置を施す必要があることが分かった。また、国内の輸送工程を見直し、市場に連携、パニング機能を集約すること、海上輸送網を活かして広域的に集荷する国内の輸出拠点的形成することを提案した。

キーワード： 農産物輸出、高機能冷凍・冷蔵コンテナ、コールドチェーン、物流効率化

1. はじめに

日本の農産物は、品質と安全性から海外で高い評価を受けており、輸出拡大のポテンシャルは高い¹⁾。農産物のうち、長期の鮮度維持が難しい品目は空輸されるが、現地では輸送コストが反映された割高な価格設定となる。近年、海上輸送に高機能冷凍・冷蔵コンテナが導入され、これまで鮮度の維持が難しかった「いちご」などの海上輸送が可能となりつつある²⁾。著者らは、海上輸送に耐えられる品目が増えれば農産物の輸出促進に大きく寄与すると考える。

農産物の海上輸送の普及に向け、次の 2 つの課題が挙げられる。

1 点目は輸送時における鮮度の維持である。航空輸送に比べて輸送時間が長い海上輸送であっても十分な鮮度を維持できる必要がある。国内の農産物は季節毎に生産品目が異なるため、それぞれの品目について鮮度維持状況を確認する必要がある。また、多品目を混載輸送するケースも想定され、貯蔵温度帯の違いやりんご等から発生するエチレングスの他品目への影響を防げるのかといった混載の可能性についても検証が必要となる。

2 点目は輸送工程の最適化による、輸送日数の削減である。コンテナ貨物を輸出する際、集荷、通関の手続き、コンテナへの積込み作業（パニング）、船舶への積込みといった輸送工程を経る。また農産物輸出では一貫した温度管理を行う低温流通（コールドチェー

ン）が求められる³⁾。コールドチェーンを維持しつつも、最適化された輸送工程を構築する必要がある⁴⁾。

このため、本稿では、清水港からシンガポール港への農産物の海上輸送試験をもとに、海上輸送における農産物の品質の確認と輸送工程の最適化にむけた検討を行う。まず、第 2 章では、海上輸送試験の概要と、品質の評価方法を述べる。第 3 章では、合計 4 回の輸送試験の結果を整理する。また、輸送コンテナの違いが品質に与える影響や、鮮度保持フィルムの有効性も評価する。第 4 章では、航空輸送と比較した海上輸送のコスト削減効果を試算する。また輸送日数の削減に向けた輸送工程の見直しを行う。最後に、得られた知見と残された課題を整理する。

2. 海上輸送試験の概要

(1) モデル地域の選定

農産物の海上輸送試験の実施にあたり、中部地方整備局管内の、清水港及びその背後の 3 県（静岡県、山梨県、長野県）からなる地域をモデル地域として選定した（図-1）。

3 県は、清水港の背後に位置し、いずれも農産物の生産が盛んな地域である。2021 年には中部横断自動車道（山梨県区間）の全線開通が予定されており、産地と清水港の時間距離が大幅に短縮される見通しだ。

清水港はコンテナ船の定期航路によって海外港と結ばれ、我が国の農産物の主要な輸出先国である香港、

米国、台湾、中国及び韓国との航路が就航している。また、モデル地域が今後の農産物輸出のターゲットとしているタイ、マレーシア、及びベトナム（平成30年農林水産物輸出入概況）との航路も就航している。

このように、農産物輸出拡大に向けた物流面での適性を有する当該地域をモデル地域とし、既存販路を有するシンガポールへ農産物を海上輸送した。

(2) 輸送経路

本輸送試験の輸送経路を図-2、各施設の位置関係を図-3に示す。農産物は、全国の農産物が集まる静岡中央卸売市場において選定した。貨物の輸出には通関の手続きを要し、手続きは関税法に基づく保税地域内で実施される必要がある。市場で選定した農産物を保税地域に位置付けられた民間の冷凍・冷蔵倉庫（保税倉庫）に運搬し、通関とパニング作業を行った。その後、コンテナを清水港新興津コンテナターミナルへ運搬し、船積みした後シンガポール港へと海上輸送した。

輸送経路は、既存の施設や航路を組合せ、最短の輸送日数となるよう設定した。市場における品目選定からシンガポール港での船積みまでにかかる輸送時間は17日間であった。国内の流通であれば、市場で競り落とされた農産物は長くとも2日程度で小売店の店頭と並ぶ。海上輸出の実現に向けて、長時間となる海上輸送中の品質維持状況を詳細に評価する必要がある。

(3) 試験回数と輸送品目

季節毎の品目の海上輸送品質を確認するため、令和元年8月から翌年2月にかけて概ね2ヶ月毎に1回、計4回の輸送試験を実施した。輸送品目は、流通しているものの中から、シンガポールでの需要や生産者の意向に基づき選定し、4回の試験で野菜62品目、果実36品目を輸送した。

(4) 試験条件

a) 使用するコンテナ

試験では、「リーファーコンテナ」、「futecc（フーテック）」⁹⁾、「CA（Controlled Atmosphere）コンテナ」の3種類のコンテナを用い、使用するコンテナが輸送品質に与える影響を分析した。

リーファーコンテナは一般的な冷凍・冷蔵コンテナで、冷却装置によりコンテナ内の温度調節を行うことが可能なコンテナである。設定温度に対して庫内に最大で±5℃程度の温度ムラが生じることがあるため、0℃付近の低温管理が困難である。

futeccは、高性能な冷却装置により、従来の冷凍コンテナに比べ高い精度±0.5℃で温度管理できる冷凍コンテナである。農産物が冷凍する寸前の温度に設定でき、



図-1 モデル地域の位置図

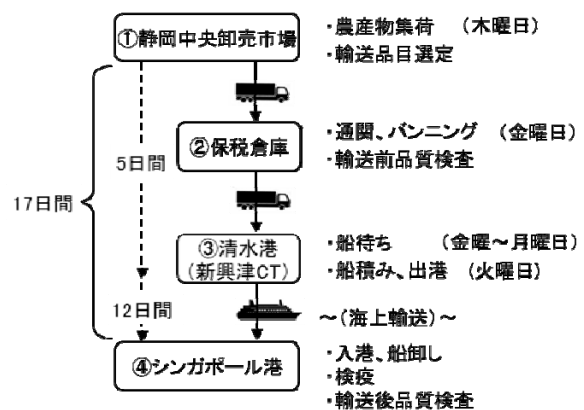


図-2 輸送経路



図-3 各施設の位置関係

農産物の呼吸を抑え長期の鮮度維持が可能となる。

CAコンテナは、コンテナ内に窒素ガスを充填し、酸素濃度と二酸化炭素濃度を調節することが可能な高機能冷凍・冷蔵コンテナである。低酸素のガス組成を生成することで農産物の呼吸を抑え、長期間の鮮度維持が可能となる。

4回の試験では、庫内温度を0℃に設定したfuteccを

使用した。第2回試験では futecc に加えてリーファーコンテナを使用し、第3回試験では futecc に加えて CA コンテナを併せて使用し比較した。

b) MA (Modified Atmosphere) フィルムによる包装

MA フィルムは、フィルム包装内を鮮度維持に最適なガス組成に調整し鮮度を維持する機能がある。フィルムの有効性を検証するため、第1回及び第4回試験では MA フィルム包装有り・無しの2種類を用意し比較した。また、第1回試験では出荷箱ごとに MA フィルムで包装したのに対し、第4回試験では窓付き強化段ボールケースの窓部分に MA フィルムを貼り付けた「鮮度保持ボックス」(写真-1)を試作し複数の出荷箱をまとめて梱包した。これにより、より簡易にフィルムの鮮度保持効果を発現することを狙った。



写真-1 試作した鮮度保持ボックス

(5) 調査項目と評価指標

輸送後の各品目の状態を以下に示す5段階で評価(以下、スコアと称する)するとともに、販売可能な割合を算出し(以下、可販率と称する)、商品としての品質維持状況の評価指標として設定した。

- 5: 集荷時と同等の品質
- 4: 集荷時には劣るが良好な品質
- 3: 品質は劣るが販売可能な品質
- 2: 集荷時よりも大幅に品質が劣る
- 1: 販売は不可能

また、輸送前後に品質(重量、糖度・酸度、果実硬度、色彩、写真撮影)を検査し、輸送後はシンガポール在住者及び日本人による官能評価(外観、食感、甘み、及び風味)を、輸送中は温湿度と衝撃を計測した。

3. 試験結果

(1) 結果概要と考察

全4回の試験における代表品目のスコアと可販率を表-1に示す。代表品目には、モデル地域における季節毎の主力品目や、著しく品質が劣化した品目等、着目すべき品目を抽出して表示した。

ここでは、代表品目を「葉物野菜」、「多水分野菜」、「薄皮果実類」、「特筆果実」、「その他」に分類し、品質維持状況や輸送品質の向上策を整理する。

a) 葉物野菜、薄皮果実類

葉物野菜では、MA フィルムの有無によって、スコアにして最大2.5程度の輸送品質向上効果を発揮することが分かった。MA フィルム無しでは、「白菜」と「キャベツ」、及び「レタス」に5~8%の重量減少が生じ、特に「レタス」は販売の際に外葉除去を要する低スコア(2)となった。一方、MA フィルム有りでは、重量減少が大幅に抑制され、販売に適する良好な品質

表-1: スコアと評価結果

回次		第1回		第2回		第3回		第4回		
実施時期		8月1日(木)~21(木)		10月10日(木)~31日(木)		12月19日(木)~1月8日(水)		2月6日(木)~26日(水)		
使用機材		futecc (0°C)	futecc (0°C) + MAフィルム包装	futecc (0°C)	リーファーコンテナ (5°C)	futecc (0°C)	CAコンテナ (0°C)	futecc (0°C)	futecc (0°C) + 鮮度保持ボックス	
検証項目		MA包装の効果検証		futeccとリーファーコンテナの比較		futeccとCAコンテナの比較		鮮度保持ボックスの効果検証		
野菜	葉物	白菜	4(100)	5(100)			3.5(100)	4(100)	4(100)	4(100)
		キャベツ	4(100)	5(100)			5(100)	5(100)	5(100)	5(100)
		レタス	2(100)	4.5(100)			4(100)	4.5(100)	4(100)	4(100)
	多水分	ナス	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	1(5)	2(30)
		オクラ	1(0)	1(0)						
	その他	キュウリ	1(0)	1(0)	1(0)	1(0)	3(77)	3(87)	2(78)	2(80)
		甘藷☆	5(100)	5(100)	5(100)	5(100)	4.5(100)	5(100)	5(100)	5(100)
馬鈴薯☆				5(100)	5(100)	4.5(100)	5(100)	5(100)	5(100)	
果実	薄皮	しいたけ			5(100)	5(70)	3.5(95)	3.5(75)	3.5(100)	3.5(100)
		シャインマスカット	4(100)	5(100)	4(100)	4(78)				
		巨峰	4(100)	5(100)	5(100)	5(100)				
		桃	4(100)	5(100)						
	特筆	メロン	4(100)	5(100)	4(100)	4(100)	4.5(100)	5(100)	3(100)	3.5(100)
		いちご☆					4.5(100)	4.5(100)	4.5(100)	4.5(99)
		いちじく			3(60)	2(25)				
その他	プラム	4(96)	5(100)							
	みかん					5(97)	5(97)			
	りんご☆			5(100)	5(100)	5(100)	5(100)			
輸送品目全体の平均		4.2(97.7)		4.2(87.3)		4.4(95.8)		4.2(97.7)		

☆: 複数品種の平均値

※括弧内の数字は可販率を示す。

が保持された(写真2)。

MA フィルムの有無による重量減少の変化は「シャインマスカット」等の薄皮果実類でも同様の傾向が見られた。重量減少を生じやすい品目の輸送においては、MA フィルム包装が有効であると言える。

b) 多水分野菜

「ナス」、「オクラ」、「キュウリ」では、輸送後に変色や変質といった著しい品質の劣化が見られた(写真3)。これらの症状は「低温障害」であると考えられる。これら3品目の最適貯蔵温度帯は7~12℃であり、試験で設定した0℃には適さなかったと言える。温度に対して敏感な品目を含めて混載輸送する場合は、最適貯蔵温度帯の近い品目同士を選定したり、一部の品目に保温梱包を施す等の工夫が必要である。

c) 特筆果実

現状、「いちご」の99%以上、「プラム」の90%以上が航空輸送されている(2019年貿易統計)。今回の試験では4品種の「いちご」と1品種の「プラム」を輸送した。いずれの品種においてもスコア4以上の良好な輸送品質であり、3週間程度の運搬日数であれば海上輸送は十分に可能であることが示された。

「いちじく」には、futecc(0℃)を用いた場合は乾燥による重量減少と収縮が発生し、リーファーコンテナ(5℃)では高温によるカビやドリップ漏出が発生した。今回の結果を踏まえれば、乾燥防止措置を施した上でfuteccコンテナを用いることで品質維持が期待できる。

d) その他

「甘藷」、「馬鈴薯」、「みかん」、「りんご」等の貯蔵性の高い品目については、一般的なリーファーコンテナであっても高い品質が維持され、問題無く輸送されることが分かる。

(2) その他の検証事項

a) 「りんご」を混載する際の留意点

「りんご」はエチレングスを放出し、他の品目の品質に影響を与えることがわかっている⁹⁾。しかし、第2回試験では3品種の「りんご」を輸送しているが、各箱にエチレン除去剤を入れるとともに、外装にフィルム包装を施す処置を講じたところ、他品目への影響は見られなかった。また、5℃に設定したリーファーコンテナよりも、0℃に設定したfuteccの方がエチレン放出量は少なかった。これらから、包装や温度設定において適切な処置を施すことで、他品目への影響は最小限に抑制できることが分かる。

b) 季節毎の輸送品質

表-1の最下段に、各回試験で輸送した全品目の平均スコアと平均可販率を示している(スコア及び可販率



写真-2 MA包装の重量減少抑制効果(レタス)



写真-3 低温障害の症状が見られるナス(第4回試験)

は、各品目ごとに高い方の数値を採用)。いずれの試験でも平均スコアは4以上、平均可販率も概ね90%を超えており、高い品質で輸送されていることが分かる。各回の試験結果の間にスコアの偏在は見られない。このことから、本モデル地域の農産物は、季節を問うことなく海上輸送可能であることが示された。

(3) 試験結果のまとめ

全体を通して、多品目の混載によって品質に著しい影響が出る農産物は無かった。一部の品目では、低温や湿度低下の影響による品質低下を防ぐ措置を施す必要はあるが、それ以外の農産物においては特段の措置無しで輸出が可能であると判断できる。また、4回の試験を通じて、季節毎に輸送品質の偏在は無く、年間を通して高い品質で輸送可能であることが示された。

MA フィルムによる包装は有用であるものの、梱包に費用と手間がかかることを考慮すれば乾燥しやすい品目に限定して使用することが望ましい。また、本試験における鮮度保持ボックスのように、MA フィルムの効果をより簡易に得るため今後さらなる検討の余地があると言える。

高機能冷凍・冷蔵コンテナによる輸出はリーファーコンテナによる輸出に比べて海上輸送費用は高くなるが、輸出品目に最適貯蔵温度0℃付近の農作物を含む場合、販売時のロス率等を考慮すればトータルの収益性において有利となる。

高機能冷凍・冷蔵コンテナのfuteccとCAコンテナでは、両コンテナのスコアと可販率においてはほとんど差は無かった。しかし、官能評価(外観・食感等)による比較では20品目で有意な差がみられ、果実類は概ねfuteccが優位で、野菜類は概ねCAコンテナが優位であった。

4. 輸送工程最適化に向けた検討

(1) 海上輸送の経済性検証

海上輸送は航空輸送と比べて輸送コストを大幅に抑制できる。単価が安い農産物輸出では輸送コストの比重が大きく、輸送コストの抑制は価格競争力向上や生産者の増収に直結する重要な要素である。

ここでは、海上輸送と航空輸送の具体的な輸送コストを試算し、海上輸送のコスト面での優位性を調べる。

a) 輸送コストの試算条件

各輸送モードの輸送コスト試算条件を表-2に示す。

経路の始点は静岡中央卸売市場とし、航空輸送の終点はシンガポール港から約20kmの位置にあるチャンギ空港とした。航空輸送は、静岡中央卸売市場の最寄りの静岡空港から、那覇空港を経由する経路を設定した。この経路は、輸送費用が最安値となる経路である。

試算に用いる輸送品目には、高付加価値で海外での需要が高い「いちご」を選定した。輸送ロットは、海上輸送にはコンテナ満載を想定した1,600kgを設定し、航空輸送にはパレットの積載重量を想定した100kgをそれぞれ設定した。

b) 試算結果と考察

各輸送モードの輸送コストの試算結果を図-4に示す。

航空輸送から海上輸送へと輸送方法を変更することで、輸送コストが約76%削減されることが分かった。

今後、生産者や輸出事業者に対して海上輸送の経済性を周知していくことで、積極的な新規参入を期待できる。

(2) 機能再編案の立案

今回の輸送試験では、図-2に示した通り、静岡中央卸売市場に集荷した農産物を保税倉庫へと運搬している。保税倉庫におけるバンニングの際は、外気との接触を遮断し、コールドチェーンを維持するための「ドックシェルター」と呼ばれる設備が必要となる。現状、静岡中央卸売市場には保税地域の位置付けは無く、ドックシェルターも無いため、静岡中央卸売市場から保税倉庫までの運搬は不可欠な工程である。しかし、通関とバンニングのみを目的とした運搬は合理的でない。今後、機能再編による効率化の検討を進めるべきである。

ここでは、集荷、通関手続き、バンニング、及び港湾の機能それぞれが合理的な配置となる機能再編案を検討する。まず、本輸送試験で設定した現状の輸送工程の課題を解決するための中期的な再編案（フェーズ1）を立案する。続いて、将来的な輸出形態の多様化を見据えた再編案（フェーズ2）についても立案する。

表-2 輸送コストの試算条件

	航空輸送	海上輸送
概略経路	静岡中央卸売市場 ↓ 静岡空港 ↓ 那覇空港 ↓ チャンギ空港	静岡中央卸売市場 ↓ 清水港 ↓ シンガポール港
輸送品目	いちご	
輸送ロット	100kg	1600kg

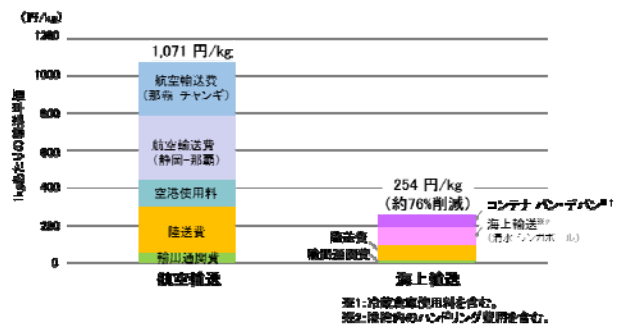


図-4 航空輸送と海上輸送の輸送コスト比較

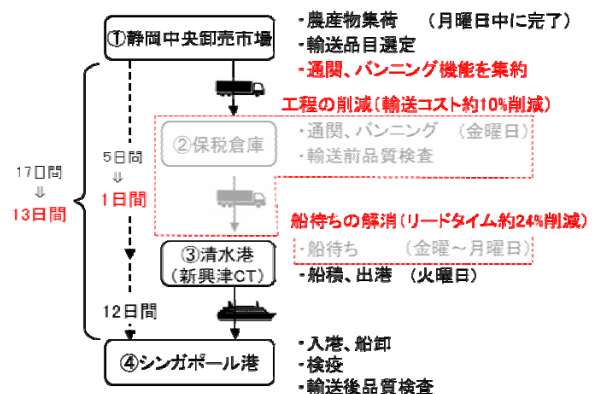


図-5 フェーズ1の概念図

a) フェーズ1：市場への機能集約

フェーズ1は、通関手続きとバンニング機能を市場に集約することで、国内輸送に要する日数と輸送コストの削減を図るものである。概念図を図-5に示す。

フェーズ1では、市場から保税倉庫への運搬工程が省略される。このため、市場から清水港のコンテナターミナルへ直接運搬することができ輸送コストが約10%削減される。

また、市場での品目選定から出港までの時間が大幅に削減される。通関とバンニング機能を市場へと集約できれば、出港前日に、品目選定からコンテナターミナルへの搬入までが完了でき、リードタイムが4日間程度短縮される。今回の輸送試験の条件では、現状必要となる輸送時間を約24%削減できることが分かった。

フェーズ 1 の実現にあたっては、市場を保税地域として位置付ける必要がある。これには、他の国内向け農産物と混同しないよう厳密に入出場管理することが求められる。このため、輸出用農産物のみを扱う区画や倉庫施設を整備し、監視カメラにより貨物の不正な混入を防止するといった措置が必要となる。また、サプライチェーン維持のため、輸出用農産物限定の施設を整備する際は、併せてドックシェルターを整備する必要がある。

b) フェーズ 2：港湾への機能集約

フェーズ 2 は、将来的に農産物の輸出が普及し、流通経路が多様化した場合に有効となる機能配置案である。概念図を図-6 に示す。

フェーズ 1 への再編後、フェーズ 2 では、コンテナターミナルに近接した場所にも通関手続きとバンニング機能を配置するものである。

将来的に想定される流通経路として、フェーズ 1 で示した市場を介する経路の他に、以下に示すケース①～③が共存する状態が考えられる。

ケース①は、他地域の農産物を満載したコンテナを、清水港経由で輸出する経路である。海外のバイヤーへのヒアリングにより、同一の港から国内各地の農産物を一括して輸入できることは、販売競争におけるメリットとなることが分かっている。

ケース②は、他の農産地から、輸出向けと国内向けの農産物を併載して輸送し、清水港において仕分けと再バンニングするケースである。

ケース③は、市場を介さない大手農業経営体等が清水港から直接輸出するケースである。

ケース①と②における国内輸送は、今後モーダルシフトされ海上輸送により清水港に集荷されると予想される。ケース③についても、直接清水港に運搬し、通関・バンニングを行える体制が理想的である。いずれのケースにおいても、各機能がコンテナターミナル直近に集約している状態が理想的であると言える。

5. まとめ

本稿では、海上輸送試験を軸として、2つの課題に対する解決策について報告した。

輸送試験では、高機能冷凍・冷蔵コンテナを用い、静岡中央卸売市場にて集荷・選定された農産物を清水港からシンガポール港へと輸送し、品質維持状況を検証した。その結果、大半の農産物が高い品質で輸送可能であることが示され、年間を通じた輸出が可能であることが分かった。また、多品目を混載して輸送する際に配慮すべき事項や適切なコンテナの選定方法、MA フィルムの効果的な使用方法を考察した。

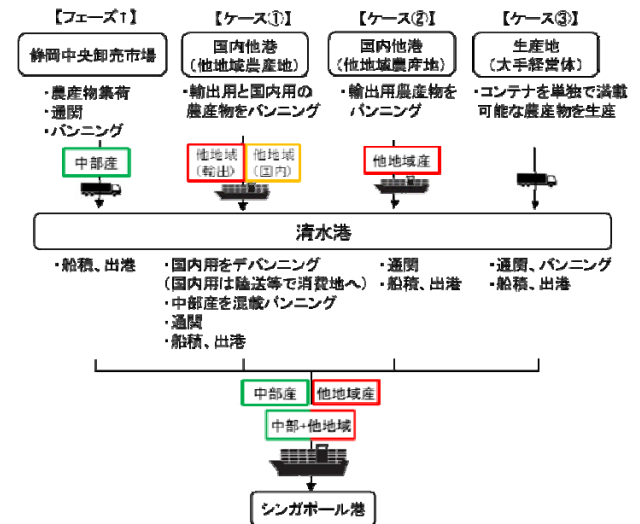


図-6 フェーズ 2 の概念図

次に、現状の輸送工程における具体的な輸送コストを試算したうえで非効率な部分を検証し、最適化に向けて通関とバンニング機能を市場へ集約する方法を提案した。さらに、将来的な流通経路の多様化を想定し、清水港にも同機能を追加する方法を提案した。

試験を進める中で、冬場の荷量不足という新たな課題も抽出された。海上輸送の経済性を最大化するためには、コンテナを満載できる荷量を確保する必要がある。今後は、既存の内貿航路を活用した広域集荷を組入れた輸送ネットワークの確立に向けて検討を進める必要がある。

謝辞：本検討は、JA 静岡経済連及び静岡県の協力のもと実現した。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 糸井明美：世界の飲食料市場規模の推計，農林水産政策研究所レビュー，No. 91，2019
- 2) 平栄蔵，御手洗正文：農産物定温調湿貯蔵庫の開発および実証実験，宮崎県工業技術センター・宮崎県食品開発センター研究報告，No. 58，2013
- 3) 安永円理子：農産物・食品の安全と品質の確保技術 (第 11 回)-収穫後青果物の品質変化予測モデルについて-，農業食料工学会誌 77(4)，pp. 246-251，2015
- 4) 下渡敏治：卸売市場の集荷機能を活用した農産物輸出と輸出拡大への課題，野菜情報，36，1月号，2017
- 5) Futec コンテナ：(株)デンソーが開発した，海上コンテナ業界初の 2 コンプレッサー 2 インバーター方式の冷凍コンテナ機。インバーターを用いてコンプレッサーをきめ細かく制御し高い温度安定性を実現したもの。
<https://www.denso.com/jp/ja/products-and-services/industrial-products/futec/>
- 6) 椎名武夫：野菜の品質保持技術について，野菜情報，44，9月号，2016