我が国の主要露地野菜生産システム同定の試み

大原源二[†]・岡田邦彦

(農研機構野菜花き研究部門)

An attempt to identify the production situations for major open-field vegetables

Genji OHARA[†] and Kunihiko OKADA

(Institute of Vegetable and Floriculture Science, NARO, 3-1-1 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8519, Japan.)

Abstract

To improve reliability in predicting times and volumes of market arrival of major open-field vegetables, we used all available data to identify the Japanese production situation of such vegetables. First, based on market statistics, we investigated the assumption that the production allocation of major open-field vegetables is climatically optimized. Then, we prepared prediction models for cultivation periods, based on cultivation samples. We also elucidated the characteristics of cultivation methods, by region and season; and the ranges of preferred cultivation temperatures, by vegetable type and growing stage. In addition, by optimizing the allocation of major open-field vegetables for climate conditions (using deviations from the ranges of preferred cultivation temperatures as indicators), we identified the production situations for in-season major open-field vegetables, for 10-day periods, by former municipality (based on the Agriculture and Forestry Census), based on production and market statistics. The deviations were calculated by subtracting the limits of preferred cultivation temperature ranges from the meteorological environments of given cultivation periods (back-calculated from the arrival date based on market statistics and cultivation period prediction models). Based on a static optimization algorithm, optimized production situations were identified by repeatedly selecting, as optimal solutions, the allocations with the smallest margins, from all possible land resource allocations. Although there are still issues to be resolved, the identified production situations were consistent with the available data, and can be considered sufficiently valid.

Key words: Identification of production situation, Open field vegetables, Cultivation samples, Optimization of climatic allocation, Production and market statistics

キーワード: 露地野菜, 生産実態, 統計値, 気候立地, システム同定

1. はじめに

主要露地野菜は、様々な産地が季節ごとにリレーすることで市場に周年安定供給されるが、それぞれの産地・季節で栽培品種・栽培法が大きく異なる。また、季節によっては一時的に貯蔵後出荷されることもある。そのため、気象の年々変動や温暖化に対して信頼に足る市場入荷予測を行うには、いつ・どこで・何を・どれだけ・どのように栽培しているかを詳細に把握する必要がある。しかし、これらを曖昧にしたままの従来法では現在の要請には答えられず、これらを正確に推定する全国的な野菜生産システムの同定とその結果を用いる予測法の開発が急務と考えられる。

この実現には、それぞれの産地の季節ごとの作付面積の推移と栽培品種・栽培法の特徴を詳細に把握することが必須である。全国の代表的な産地の調査(野菜試, 1982や農林省統計情報部, 1981など)がなされ、その解説(山川, 2003)も行われている。しかし、全国的な市場入荷予測には、代表的な産地だけでなく、その他の産地の情報も欠かせない。こうした調査結果を気象の年々変動と関係づけて市場入荷予測に結び付ける方法の開発が欠かせない。

い。そこで、これら調査結果だけでなく、種々の統計値を含め現在利用可能なデータを網羅的に収集かつ体系的に利用して、旧市町村・旬という時空間サイズでいつ・どこで・何を・どれだけ・どのように栽培しているかを推定して、我が国の野菜生産システムを同定することを試みた。対象品目は、我が国の主要露地野菜で、需給逼迫がしばしば問題となるキャベツ、レタス、ハクサイ、ダイコン、ニンジンの5品目とした。

2. 方 法

2.1 問題解決に利用したデータ

利用したデータは栽培事例と統計値である。栽培事例は、野菜作型別生育ステージ総覧(農水省統計情報部, 1981, 1986, 1992, 1998)と野菜の種類別作型一覧(野菜試, 1982; 野菜・茶試, 1989, 1998; 野菜茶研, 2010)から採取した。これらは産地規模で主要な品目・作型ごとに作付けの実態を集約したもので、代表的な産地の栽培品目・品種と作型(露地, マルチ, トンネル, 加温等)・発育段階(播種期, 定植期, 収穫期)・作付け地(包括市町村または県あるいは県を数分割)等を記載している。

統計値は生産者の生産・出荷状況を市町村や県ごと・季節ごとに集計したもので、農水省作況調査(野菜)の県別および市町村別野菜生産出荷統計(農林水産省, 2017年

2017年12月22日 受付, 2020年3月16日 受理

[†]Corresponding author: ohara@affrc.go.jp

DOI: 10.2480/cib.J-20-047

ど）・農業センサス 2005（農水省統計部，2006）・青果物市況情報（農水省統計部，2011；南石，1998）を使用した。年度ごとの生産出荷統計は，1 年を 3 区分した季節の県または市町村単位の品目ごと作付面積・収穫量・出荷量を記載する。農業センサスの旧市町村別集計は，旧市町村単位の主要野菜の品目別年間栽培面積を記載する。青果物市況情報は，中央卸売市場への日別・出荷県別の品目ごとの入荷量，品質情報を記載する。生産出荷統計と青果物市況情報は，2000～2009 年の 10 年分を平均して用いた。

さらに，関連統計値として，3 次メッシュ土地利用情報（神山ら，2003）の年間野菜栽培面積を旧市町村単位で集計し，旧市町村の野菜栽培面積とした。そして，野菜を栽培する 3 次メッシュの日別平均気温（清野，1990）を旧市町村単位で 1981-2000 年の 20 年間で日別に平均した日別平均気温も利用した。

2.2 同定時空間サイズならびに栽培法の特徴の分類の検討

農業センサス 2005 の旧市町村数は 11,589（2005 年時点，1 区画平均 32.6 平方キロ，2005 年の中学校の学区数 11,035 とほぼ等しい）である。集計値が取り扱いやすく，1 区画当たりの面積も比較的狭いので，「どこで」という空間分解能は旧市町村を単位とした。

また，生産・流通現場では，作型・出荷時期の早晩は 1 旬を単位として考えることが多いので，「いつ」という時間分解能は 1 旬を単位とした。

栽培品種・栽培法は，産地・作型で大きく変わる。これらに大きく影響する気候区分を，野菜の種類別作型一覧（野菜試，1982）では年平均気温に基づき 5 区分（寒地，寒冷地，温暖地，暖地，亜熱帯）に分割している。しかし，これでは栽培事例の多くが温暖地と暖地に分類されてしまう。そこで，各区分の出現頻度と区分間の年平均気温の差を考慮して，年平均気温 7.0℃，9.0℃，11.0℃，13.0℃，14.5℃，16.0℃，18.0℃ 以下と 18.0℃ より高い 8 区分にした。その結果，栽培品種・栽培法の特徴は品目ごとに 8 気候区分の旬単位，すなわち 8×36 の 288 区分に分けてパラメータ化することにした。

2.3 解決すべき問題の定義と解決手順

2.3.1 主要露地野菜生産システムの同定

気象環境を入力として，市場出荷（入荷）を出力とする我が国の露地野菜生産システムを想定する。システムの出力は，上記同定時空間サイズの旬単位・旧市町村単位の市

場出荷の単純な総和である。そのため，最小の単位となる旧市町村・旬単位の栽培品目・栽培面積（ここでは収穫面積に等しいと想定）・栽培品種・栽培法の特徴を推定できれば，それらの総体として我が国の野菜生産システムが同定される。

栽培品種・栽培法の特徴は旧市町村が属する気候区分と収穫旬に応じて予めパラメータ化しておく。そのため，最終的には旧市町村・旬ごとの栽培品目・栽培面積が推定できればよい。これらが推定できれば，システム同定がなされ，気象の年々変動に対する野菜生産システムの出力である市場出荷量の予測が可能になる。

2.3.2 産地間リレーの実態と気候的な最適立地配置を仮定することの妥当性の検証

野菜の作型は播種・定植～収穫の期間が気候的に好適で，品種選定・環境調節・栽培管理をセットとした技術体系として定義され，適地・適作の時代（山川，2003）といわれる。そのため，それぞれの産地における現在の作型は様々な品目導入や作型開発の試行錯誤と産地間の激烈な競争の結果たどりついた一つの気候立地的最適解であり，統計値はこの状態を集約していると想定できる。この想定を，青果物市況情報を県ごと旬ごとに集計（2000～2009 年平均）して，県ごとの年平均値に対して相対値化した後，収穫期のピークに着目して並び替え，ピークの移動状態と主産県の気候に着目して検証した。

2.3.3 生産システム同定問題の定義と解決戦略

露地野菜生産システムの同定は，その構成単位である旧市町村ごとの栽培品種・栽培法の特徴を把握し，品目別・収穫旬別の栽培面積を推定することでなされる。時間分解能を横軸，空間分解能を縦軸とすると，現在入手可能な様々な統計値・栽培事例は表 1 のように分類される。多種多様な統計値が整備されているが，表 1 灰色部にシステム同定時の目標として示す旧市町村・旬という時空間単位の栽培品目・栽培面積の統計値は存在しない。そのため，時空間単位の異なる統計値から目的とする時空間単位の栽培面積を推定する方法を開発する必要がある。

栽培品種・栽培法の特徴を表す「どのように栽培」という部分は栽培事例を用いて独立して解ける。そのため，残りの「いつ（年間 36 収穫旬から特定）」，「どこで（全国の 11,589 旧市町村から特定）」，「なにを（5 品目から特定）」，「どれだけ（市場出荷のための収穫面積）」栽培するのかを，旧市町村別・品目別・収穫旬別の収穫面積（ $A_{p,h,j}$: p 旧市町村の h 品目の j 旬の収穫面積，以後単に $A_{p,h,j}$ とする）を利

表 1. 生産実態の同定に使用した統計データ等の時空間分解能と目標とする生産実態の位置付け（灰色表示）。

	日	旬	季節（年間を 3 区分）	年
旧市町村（全国平均で約 33 km ² ）	3 次メッシュ日別気象値（1981-2000 年平均）の旧市町村平均	同定時に目標とする時空間分解能		3 次メッシュ土地利用情報の旧市町村別集計値。農業センサス(2005)の旧市町村別集計値
市町村（全国平均で約 209 km ² ）		野菜作型別生育ステージ総覧（1981, 86, 92, 98）	市町村別野菜生産出荷統計（2000-09 年平均）	
都道府県（全国平均で約 209 km ² ）		野菜の種類別作型一覧（1982, 98, 02, 10）。青果物市況情報（2000-09 年平均）日値の旬別集計値	都道府県別野菜生産出荷統計（2000-09 年平均）	

用可能な統計値から推定することを考える。ここで、青果物市況情報の集計値は県単位のため、全国一括でなく、県ごとの推定法が開発できればよい。なお、収穫面積は市場入荷量を単位面積当たり出荷量で除した値としておく。

$A_{p,h,j}$ は 36 旬 × 県当たり数百旧市町村 × 5 品目を要素とする数万個の未知数である。現在入手できる表 1 に示す統計値の種類と量は多いが、そこから生成できる制約条件は未知数と比べて遥かに少なく、統計値から解析解を得ることは不可能である。解を得るには何らかの仮説が必要である。そこで、現在の産地・作型は気候立地的に最適化されているという仮説を設け、気候立地適性を定量的に表す指標を考案し、それを最適化するように $A_{p,h,j}$ を推定することを考えた。

気候立地適性の定量的な評価指標は、作物の発育段階ごとの気候的類似性による適地適作判定法 (Ohara et al., 2005) の考え方を発展させた。すなわち、各品目の発育前期・中期・後期の栽培に好適な気温領域 (日平均気温) の限界と栽培時に遭遇する発育前期・中期・後期の平均気温の距離を評価指標として利用した。この値を以後、「余裕」と称する。算出方法は 2.4.4 で後述する。

最適な $A_{p,h,j}$ は気候立地的に割り当てを優先する品目・収穫旬を決定するミニマックス問題として解決する。割り当てを行おうとする品目・収穫旬ごとに、市場出荷に必要な収穫面積を、それぞれ全ての制約条件を満たした上で、余裕の大きい旧市町村から順に $A_{p,h,j}$ を割り当てる。こうして達成可能な最大の余裕 (マックス部) をまず計算する。次に、得られた品目・収穫旬ごとの達成可能な最大余裕の中で最小となる品目・収穫旬 (ミニ部) を選択して、最優先で決定すべき品目・収穫旬とする。その時の割り当て $A_{p,h,j}$ を、旧市町村への割り当ての最適解とする。この最適化を、決定する品目・収穫旬がなくなるまで繰り返すことで、最終解を得る。これは、旧市町村にどのように割り当てても、気候立地上最も厳しくなる品目・収穫旬を最優先で割り当てることを意味する。最優先の品目・収穫旬への

割り当てを後に回すと、後の回では気候立地上より不適になるためである。最適化の繰り返し時には、ある回の最適化が後の回の最適化に影響を及ぼさないと仮定した。解を求める具体的な手順は 2.5 で後述する。

以上の解決の流れを図 1 に示し、各手順を以下の節で具体的に説明する。

2.4 栽培期間予測モデルの作成と気候立地の定量的評価指標の作成

2.4.1 データの収集と前準備

図 1 の I. 部分に、データの収集と統計値の齟齬解消という準備作業を示す。データとして、「2.1 問題解決に利用したデータ」に示すデータを収集した。そして、統計値は、県別生産出荷統計を基本として他統計値は一致するように修正した。

まず、青果物市況情報 (中央卸売市場の入荷量の県ごと日ごとの集計値) は生産県別・旬別に再集計し、その季節合計が県単位の品目別季節別生産出荷統計 (2000 ~ 2009 年平均) と一致するように修正した。その後、生産出荷統計から算定した季節別の単位面積当たり出荷量で除して、県ごと品目ごと旬ごとの市場出荷のための収穫面積とした。この収穫面積が、旧市町村に対し品目ごと・旬ごとに割り当てる面積である。また、市町村単位の品目別季節別生産出荷統計は、その県別総計が県別生産出荷統計と一致するように修正した。

次に、対象 5 品目の農業センサス 2005 の旧市町村別の品目別年間栽培面積の市町村合計が修正した市町村別生産出荷統計と一致するように修正して旧市町村別の収穫面積の年計とした。また、3 次メッシュの野菜栽培面積 (神山ら, 2003) を旧市町村単位で集計し、対象 5 品目の農業センサス 2005 の旧市町村別集計値の品目別収穫面積の合計と一致するように修正した。これは旧市町村単位で市場出荷のために割り当てられる年間の 5 品目合計の収穫面積である。

この後、栽培期間と栽培時に遭遇する気温を評価するた

図 1. 栽培実態同定の手順.

め、旧市町村単位の野菜栽培3次メッシュの現在（1981～2000年平均）の日別平均気温も算定しておいた。

2.4.2 DVR-DVI（発育速度－発育段階）モデル

気候立地適性の定量的評価法は、栽培事例を解釈・整理・分類した解説（山川，2003）などを参考に検討した。そして、図1のⅡ.に記載したように、野菜作型別生育ステージ総覧（農水省統計情報部，1998など）の露地栽培の栽培事例だけを採取し、品目別に播種・定植期～収穫期までの日数を予測する栽培期間予測モデル（Ohara *et al.*, 2005; 大原ら，2005）を作成した。本モデルは、日平均気温（ θ ）に対する発育速度（DVR）を3℃毎に定義して、その間の日平均気温の発育速度をスプライン曲線で補間して、遭遇日平均気温に対する発育速度を算定する。そして、日々の日平均気温に対する発育速度を積算して、栽培開始期（播種・定植期，DVI（発育ステージ）=0.0）から収穫期（DVI=1.0）までの発育ステージを推定する。なお、用いた事例数は、キャベツが最も多く11,819例で、ニンジンが最も少なく3,607例であった。

2.4.3 栽培品種・栽培法を特徴づけるパラメータ

図1のⅢ.部分では、栽培品種・栽培法の特徴を日平均気温の修正量と栽培期間の補正倍率という2つのパラメータに集約した。これらは、加温ハウス栽培やトンネル栽培などは露地栽培とは異なる気温に遭遇すること、気候区分・収穫旬で栽培品種の早晚性や収穫状態・育苗法などが異なることに対応するためである。そのため、気候区分と収穫旬に対応する日平均気温の修正量（ θ_d ）の一覧表（ θ_d （気候区分，収穫旬））と栽培期間の補正倍率の一覧表（H（気候区分，収穫旬））を作成することにした。

作型の特徴分類（山川，2003）や野菜の種類別作型一覧（野菜試，1982; 野菜・茶試，1989, 1998; 野菜茶研，2010）の分類を考慮して、パラメータは8気候区分・収穫旬で変えることにした。そして、野菜の種類別作型一覧（野菜茶研，2010など）に記載される全ての栽培事例の収穫時の栽培期間予測モデルによる発育ステージを対象に推定誤差の総和が最小になるように、気候区分・収穫旬ごとに試行錯誤的に微調整してパラメータを定めた。

なお、野菜の種類別作型一覧（野菜茶研，2010など）の地域分割は全般に粗く、県単位か県を数地域に分割した程度である。そこで、野菜作型別生育ステージ総覧（農水省統計情報部，1998など）と比較参照して、両者の産地県と作期がほぼ一致する栽培事例を選び出し、野菜の種類別作型一覧の産地位置を野菜作型別生育ステージ総覧（農水省統計情報部，1998など）に記載されている市町村の位置に合わせた。採取事例数は、キャベツが最も多く5,657例で、ニンジンが最も少なく1,648例であった。

2.4.4 発育段階毎に遭遇する気温領域

野菜の種類別作型一覧（野菜茶研，2010など）の栽培事例に対する収穫時発育ステージの計算結果から、発育段階ごとの遭遇平均気温を調べた。発育段階は3区分して、発育ステージが0～0.3の段階を前期（z）、0.3～0.7の段階を中期（c）、0.7～1.0の段階を後期（k）とした。各段階で、低温域からの累積出現頻度が全体の1%と99%となる遭遇気温を選択した後、上下に2℃拡張して、この気温を発育段階ごとの栽培好適領域の上限（u）温度と下限（l）

温度（それぞれの発育段階で θ_{zu} , θ_{zl} , θ_{cu} , θ_{cl} , θ_{ku} , θ_{kl} ）とした。ここで、上下1%を切り捨てたのは、極端に出現頻度の少ない領域は、栽培実態を必ずしも正確に反映していない可能性があるためである。2℃拡張したのは、野菜の種類別作型一覧（野菜茶研，2010など）に掲載される各県を代表する作型・産地の栽培事例以外にも対応可能とするためである。この程度は、生産実態の同定を行った後、現在（1981～2000年平均）の気象条件で全収穫面積に占める好適領域で収穫される面積の割合を評価しつつ調整した結果である。

適地適作判定（Ohara *et al.*, 2005）では、栽培時に遭遇する平均気温が栽培事例の好適領域に含まれるか否かで栽培の適不適を判定した。しかし、気候立地の最適化では、気候立地適性を連続的な指標で評価する必要がある。そこで、好適領域に含まれるか否かという判定基準を、栽培時に遭遇する発育段階ごとの平均気温（ θ_z , θ_c , θ_k ）と好適領域の限界までの距離（Dis（S（ θ_{zu} , θ_{zl} , θ_{cu} , θ_{cl} , θ_{ku} , θ_{kl} ），P（ θ_z , θ_c , θ_k ））に変えた。距離は、発育前期・中期・後期の3軸からなる温度空間上で、3時期の遭遇平均気温で位置付けられる点P（ θ_z , θ_c , θ_k ）と最寄り好適領域の限界面（S（ θ_{zu} , θ_{zl} , θ_{cu} , θ_{cl} , θ_{ku} , θ_{kl} ））までの幾何学的距離で、内側を正、外側を負とした。この距離を気候立地的な余裕と定義した。余裕が正で大きければ好適範囲の限界からより好適な側にあり、逆に、負であれば好適範囲の限界を逸脱して気候的に不適な側にあると判断する。その程度は負の距離が大きいかほどより不適と判断する。これにより、余裕を指標として、気候立地適性を連続的に評価・比較できる。

そして、余裕の算定は、収穫旬ごとの収穫日を毎月の日、15日、25日として、旧市町村の日別平均気温を用いて、栽培期間予測モデルの収穫日の発育ステージを1.0として、栽培開始期方向に遡ることで行った。

2.5 気候立地の最適化による生産実態の同定

図1のⅤ.部分では、品目（h）ごと旬（j）ごとの県別の市場出荷のための収穫面積（ S_{hj} ，以後単に S_{hj} とする）を、気候立地の最適化という観点から旧市町村に $A_{p,hj}$ として割り当てる。品目ごと旬ごとの県別の市場出荷のための S_{hj} は市場統計の旬別集計値から与えられる。この割り当ては、すでに2.4.4に述べた栽培に遭遇する気温の好適領域の限界からの距離である余裕を評価関数として、2.3.3に述べた最適化戦略に従い、農業センサスや生産出荷統計を制約条件として解く。

気候立地的な最適化を行うには、予め $A_{p,hj}$ に対応する余裕（ $Y_{p,hj}$ ：p旧市町村でh品目をj旬に収穫した場合の余裕，以後単に $Y_{p,hj}$ とする）を算定しておく。

そして、未割り当ての品目・収穫旬の組（初回は180組，2回目以降は割り当て済みを除いた残りの組）に対する S_{hj} （hとjを固定して $A_{p,hj}$ をpについて積算した総面積に等しい）を、算定済みの $Y_{p,hj}$ に着目して、 $Y_{p,hj}$ の大きな旧市町村から小さな旧市町村に順に割り当てる。ただし、割り当てられる面積には、その旧市町村が属する市町村の季節別品目別栽培面積と、県の季節別品目別栽培面積という農業センサス・生産出荷統計等の制約がかかっている。こうして、未割り当ての h_j に対し、割り当て終了時

に達成可能な最大の余裕 (Y_{hj}) を未割り当ての品目・収穫旬の数だけ得る。実際は1旬で対象品目の年間出荷量を全て出荷する産地の存在は考えにくい、小さな産地や端境期には想定外の事態が発生するので、最大限の可能性を考慮したためである。また、割り当て終了時に $Y_{p,hj}$ が同じ旧市町村が複数となった場合は、割り当て可能な旧市町村の面積に応じて割り当てた。

次に、 Y_{hj} が最小となる h_j を選び出す。この品目・収穫旬が気候立地上最優先で割り当てを行わなければならない品目・収穫旬である。そして、この時の $A_{p,hj}$ が気候立地上の最適解を得るための旧市町村別の収穫面積となる。これは、気候立地的に最も厳しい品目・収穫旬の旧市町村の作付けを最優先とせず後回しにすると、後で割り当てられた時にはより不利な条件での作付けしかできなくなると考えると理解しやすい。

この戦略に従えば、気候立地上の最適解となる $A_{p,hj}$ は、 $Y_{p,hj}$ の関数として①のように定義される品目・旬別の最大余裕 (Y_{hj}) の最小値として得られた解を実現する、旧市町村への割り当て面積として与えられる。ここで、 $\max_p (Y_{hj} (S_{hj}, A_{p,hj}, Y_{p,hj}))$ は与えられた h_j の S_{hj} に対し、 p に着目して割り当て終了時の $Y_{p,hj}$ を最大化するように $A_{p,hj}$ を割り当ててを意味する。そして、 $\min_{h_j}$ は p について最大化した Y_{hj} から h_j に着目して最小の Y_{hj} を選ぶことを示す。旧市町村への収穫面積の割り当ては、余裕が最小となる場合の $A_{p,hj}$ である。

2回目以降の割り当てでは、割り当て済み面積を除外して、次々と同様の割り当てを繰り返す。これで全ての $A_{p,hj}$ が決定される。なお、①式には農業センサスや生産出荷統計などの調査結果が様々な制約として加わるが、解法の概要を理解しやすくするため割愛した。

$$A_{p,hj} = \min_{h_j} \max_p (Y_{hj} (S_{hj}, A_{p,hj}, Y_{p,hj})) \cdot \dots \cdot \textcircled{1}$$

3. 結果および考察

3.1 産地リレーの実態

キャベツの主産県を対象に出荷ピークが低温期から高温期へと変化するように県ごとの並び順を適宜変えた結果を図2に示す。図は出荷の多い時期を暖色系、少ない時期を寒色系、中間の時期を緑系で彩色し、ピークを赤で塗りつぶした。出荷の多少は、年平均に対する相対値で示した。県単位の出荷盛期に着目すると、低温期の冬春と高温期の夏に主体となる県は出荷量の多い限られた県に集中し、その期間は4ヶ月間程度と長いことが分かる。しかし、それらの間の気温変化の激しい時期に主体となる県は出荷量がそれほど多くはなく、多数の県が1~2ヶ月間の出荷盛期で交代していることが分かる。そのため、全体としては高温期と低温期の長期出荷の主産県、それらをつなぐ短期出荷の中間期の中継的な県という3群に分けられ、周年安定供給が多数の県のリレーで実現されている実態が見て取れる。

出荷が可能な季節でありながら出荷されていない県があるが、作付け体系上の都合（水稲作との輪作等）が推定される。また、低温期には暖かい地方から出荷され、高温期には冷涼な地方から出荷されているが、最も低温の時期に成長しなければならない季節の出荷が最も暖かい県からとは必ずしもなっていない。これは、出荷可能でありながら輪作体系の都合上他作物が入るのと同様、経営上温暖な気候を活かしたより収益性の高い作物の導入がなされていることなどが想定される。こうしたことから、様々な品目・作型が試行錯誤され、長年の激しい産地間競争で生産の不安定な産地・作型が排除され、気候的に妥当な立地配置に

	1月			2月			3月			4月			5月			6月			7月			8月			9月			10月			11月			12月			
都道府 県名	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	
大阪	1.8	2.2	2.5	2.7	2.9	3.1	3.2	3.2	2.9	2.4	1.9	1.2	0.8	0.5	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.8	1.0	1.4			
愛知	1.9	2.0	2.1	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.4	2.0	1.6	1.1	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.9	1.2	1.5	1.5			
山口	1.6	1.6	1.6	1.8	1.9	2.1	2.3	2.5	2.6	2.3	1.9	1.4	0.9	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.8	1.1	1.3	1.5	1.5			
鹿児島	1.7	1.8	1.9	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.6	1.8	1.9	2.0	2.0	1.7	1.2	0.7	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	1.2	1.3	1.5		
三重	1.3	1.4	1.3	1.4	1.3	1.2	1.3	1.7	2.1	2.3	2.4	2.6	2.6	2.3	2.1	1.8	1.2	0.6	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	
和歌山	1.2	1.4	1.7	1.8	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	2.4	2.7	2.6	2.4	1.9	1.1	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.9	
静岡	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	2.3	2.5	2.4	2.4	2.1	1.8	1.5	1.3	1.1	0.8	0.6	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.0	1.1	
愛媛	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.6	1.8	1.9	2.0	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	
長崎	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	1.9	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	
福岡	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.2	0.8	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.8	1.0	1.1	1.1	1.2
岡山	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.3	1.5	1.7	1.8	1.8	1.6	1.2	0.8	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.7	0.9	1.0	1.2	1.1	1.0	1.0	
埼玉	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.7	1.5	2.5	3.0	3.0	3.4	3.9	3.6	3.4	3.2	2.5	1.2	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
神奈川	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.5	2.5	3.5	4.3	4.3	4.1	3.1	2.0	1.0	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	
兵庫	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.0	1.3	1.5	1.9	2.5	3.1	3.2	3.3	3.1	2.3	1.4	0.9	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	
千葉	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	1.1	1.5	2.1	2.4	2.6	2.3	1.7	1.1	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.7	1.1	1.4	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3
宮崎	1.0	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.1	1.4	1.9	2.3	2.5	2.6	2.3	1.8	1.3	0.8	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.9	1.2	1.3	1.4	1.4	1.2	1.1	
茨城	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.6	0.9	1.4	2.1	2.7	2.8	2.5	1.9	1.1	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.2	1.9	2.4	2.7	2.6	2.1	1.5	1.0	0.7
宮城	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.9	1.6	2.4	3.3	3.8	3.7	3.1	2.3	1.3	0.5	0.2	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	1.3	1.9	2.1	2.0	1.6	1.1	0.6	0.2	
福島	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.9	1.6	2.4	2.9	3.2	3.0	2.4	1.7	1.1	0.6	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	1.6	1.5	1.2	1.0	0.7	0.5	
新潟	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.9	1.6	2.2	2.4	2.4	2.0	1.4	0.8	0.5	0.3	0.2	0.1	0.4	1.0	1.8	2.5	3.1	3.1	2.7	2.1	1.5	1.0	0.6	
秋田	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.3	2.5	3.4	3.6	3.4	2.5	1.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.0	1.8	2.5	2.9	2.8	2.3	1.6	0.9	
大分	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.6	0.6	0.7	1.3	2.0	2.4	2.5	2.4	1.9	1.2	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6	
熊本	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	1.2	1.4	1.5	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	0.9	0.8	0.6	0.6	
青森	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.9	1.3	1.7	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	2.0	2.2	2.6	2.8	2.8	2.7	2.3	1.7	1.1	0.7	0.4	0.2	0.1	
岩手	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	1.0	1.8	2.6	3.2	3.4	3.4	3.1	2.7	2.6	2.6	2.4	2.1	1.7	1.3	0.8	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	
長野	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.1	1.8	2.5	2.9	3.0	2.9	2.7	2.6	2.7	2.8	2.7	2.6	2.1	1.5	1.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	
群馬	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.8	1.5	2.2	2.7	3.3	3.6	3.6	3.6	3.6	3.2	2.7	2.0	1.3	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	
北海道	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.1	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.2	2.2	2.2	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	0.9	0.7	0.5	0.5	

図2. 主産県のキャベツ旬別相対出荷量（青果物市況情報 2000-2009 年の平均値に対する相対値。多い旬を暖色系、少ない旬を寒色系、平均を緑で彩色。ピークは赤で彩色。）

収斂したと判断される。そのため、気候的最適立地を仮定することは概ね妥当と判断した。この傾向は、他4品目のレタス、ハクサイ、ダイコン、ニンジンでも同様であった。

3.2 栽培期間予測モデルと気候立地の定量的評価指標の作成

3.2.1 DVR-DVI モデルと栽培を特徴づけるパラメータ

露地野菜の栽培事例（キャベツ 43 品種 11,819 例、ダイコン 33 品種 10,033 例、ニンジン 17 品種 3,607 例、レタス 30 品種 4,507 例、ハクサイ 23 品種 4,437 例）から品目ごとに気温-発育速度（DVR）曲線を推定した。最適温度で栽培された場合の最短栽培期間は、レタスが44日、ハクサイ（移植栽培）が58日、ダイコンが63日、キャベツが72日、ニンジンが最も長く91日であった。最適温度はハクサイを除く4品目は19～22℃であったが、ハクサイは低く14℃であった。ハクサイは特に冷涼な気候を好むが、在圃貯蔵が相当量存在し、低温遭遇で花芽分化を起こすため若齢の低温時には保温等に努めるといわれる。栽培

事例の採取でこうした一時的な保温や在圃貯蔵の影響を十分に考慮できなかったため、最適温度が他の4品目と比べて低くなった可能性がある。なお、これら品目の発育に適する気温は15～20℃程度といわれ、主たる産地では発育期間中の平均気温が20℃を大きく超えることはなかった。

気候区分と収穫旬に応じたキャベツの気温修正量を図3に示す。気温修正量が年平均気温9℃以下で冬から初夏にかけての収穫で極めて大きいのは、北海道のハウス加温栽培という作型を反映している。他の気候区分でも、ハウスやトンネル、マルチ栽培の影響や地域内で海岸沿いの特に温かい地区で栽培されたりしている影響が考えられる。北海道と同様の年平均気温でありながら群馬県などの高冷地ではハウス加温栽培は行われず、露地で7月には出荷が開始される。北海道では本州からの輸送が困難なため地物が高く評価されるが、群馬県では近傍に産地が多数存在するといった社会的背景の差による。そのため、全国を8つに分割した気候区分では、各地の栽培法の特徴を表すには不十分で、栽培慣行や流通等を加味して、さらに数県単位

図3. 気候区分・収穫旬ごとの気温修正量（キャベツの場合）気候区分18℃以上の区分では栽培事例が存在しない。

図4. 気候区分・収穫旬ごとのDVR（発育速度）の最大値の補正倍率（キャベツの場合）気候区分18℃以上の区分では栽培事例が存在しない。

地域区分を併用する必要があると考えられた。これへの対応は、今後の大きな検討課題である。

気候区分と収穫旬に応じたキャベツの栽培期間の補正倍率を図4に示す。補正倍率は1以上で栽培期間が短くなり、1以下で長くなるように設定した。全体として変動が激しいのは、産地・作型で栽培品種を含む栽培法が複雑に変わっている実態に対して、気候区分だけでは地域分割が不十分で、産地が目まぐるしく変化することを反映していると判断される。それでも、年平均気温が11℃を超える寒冷でない地域では1～3月の低温期を中心に補正倍率が1以下で、収穫期を遅らせる在圃貯蔵が行われていると読み取れる。そして、4～7月頃には気温の低い地域で補正倍率が1より大きく、栽培期間を短縮して早期に出荷していると読み取れる。これらは暖地・温暖地で冬季に在圃貯蔵で収穫期を遅延させている実態、北海道等で初夏の収穫にはグリーンボール系などの極早生種を栽培して収穫期を早めている実態などとよく対応する。しかしながら、気温の修正量と同様各地の作型の実態をより忠実に再現するには、地域区分について今後さらに検討する必要がある。

3.2.2 発育段階毎に遭遇する気温領域

発育段階ごとに遭遇する日平均気温の出現領域の1～99%の範囲を高低温両方向に2℃ずつ拡大した範囲を栽培好適領域とした。この好適領域の限界を表2に示す。検討対象5品目の発育に好適な温度は一般に15～20℃といわれる。そして、耐暑性はハクサイが最も弱く、レタスが続き、ニンジンが発育初期には高く、キャベツは様々な作型に対応できるように品種開発が最も進んでいるといわれていることによく一致した。そのため、栽培実態を反映した実用的な栽培あるいは在圃貯蔵の限界温度を示していると判断した。なお、旧市町村別の品目別・旬別の収穫面積の推定結果中好適領域内で栽培されていると判定された面積の割合は、現在(1981～2000年平均)の気象条件でキャベツ・ダイコン・ニンジンは100.00%、レタスは99.98%、ハクサイは99.97%であった。

栽培好適領域を外れると栽培が直ちに困難になるとはいえない。しかし、病虫害や生理・生態的異常、気象災害等の影響を受ける危険性が増大し、出荷歩合が低下する確率は高くなり、安定した大きな産地を形成できていないと推定される。

3.3 気候立地の最適化による生産実態の同定

割り当てる回ごとにミニマックス法による最適化を繰り返すことで、旧市町村単位で露地野菜5品目・年間36旬の

表2. 品目別発育段階ごとの栽培好適領域(限界気温の下限/上限,℃単位. 品目ごとに栽培事例の1～99%の遭遇範囲を高低温方向に2℃拡大).

	発育初期	発育中期	発育後期
キャベツ	0/29	3/29	3/29
レタス	-1/30	-2/27	3/27
ハクサイ	-2/28	-1/26	3/24
ダイコン	-1/29	1/28	2/28
ニンジン	-2/29	3/28	3/27

気候立地的な最適化を行った。割り当ての回と各回で最小となった余裕の関係を、5品目の生産量の多い一部の県について図5に示す。示された余裕は、余裕の大きい旧市町村から余裕の小さい旧市町村に順に割り当てた時の割り当て終了時の余裕である。そのため、実際は図に示される余裕より大きな余裕が割り当てられる旧市町村が多数あることに留意されたい。また、最終的な割り当て回数が180回に達していないのは、品目別・旬別市場入荷量がごく少ない場合は除外したためである。当然のことであるが、5品目全てが県内で通年栽培されて市場出荷されるわけではない。

ミニマックス法では、その原理上、割り当ての初回に気候的に最も厳しい品目・出荷期が気候的に最も余裕のある旧市町村に割り当てられる。そして、次回以降の割り当てでは気候的な厳しさは少しずつ減少して、余裕は徐々に大きくなると期待される。図に示した結果は概ね期待通りで、ミニマックス法で気候的な最適立地配置がほぼ実現できることが立証され、野菜生産システムの同定は可能であることが証明されたと判断する。

しかしながら、細かく見ると、余裕は必ずしも割り当て回が増すにつれて、単調には増加していない。所々でスパイク状に大きく減少しつつ、全体としては緩やかに増加している。スパイク状に大きく減少した場合でも、初回の余裕の最小値を下回ることには注意されたい。これは最適化法としてミニマックス法は有効であるが、割り当て面積の先食いで余裕が過大に評価される状態が何回か続いた後、割り当て面積が先食いされた品目・旬の回となって、余裕が大きく減少するという事態が発生していると考えられる。こうした事態を引き起こした原因として、農家経営や産地運営上出荷期間をできるだけ長くすることが一般的に指向されるが、その具体的な状況が不明のため、短期集中出荷を許容したことが想定される。すなわち、出荷期間に対する制約条件の不備が原因である可能性が高い。そのため、産地の出荷期間に対する拘束条件の付加等の拘束条件の充実が今後の大きな研究課題と考えられる。さらに、後の回に及ぼす影響を考慮しつつ割り当てを行う動的な最適化アルゴリズムの利用も課題になるかもしれない。今回は、余裕が同じになった場合、割り当て面積が少ないものが全体としては余裕が小さいとして優先して割り当てたが、この場合の対応法も検討が必要である。

このように真の最適解を得るには、今後改良・検討すべき点が多々あるが、今回の割り当て結果は拘束条件となる各種統計値には矛盾しない。また、気温の年々変動が相当大きく、季節によっては1旬の気温変化が、こうした細かな割り当て順に対する余裕の変化より大きい場合も頻繁に発生する。こうした点を考慮すると、今回得られた結果は実態から極端に離れるものではないと期待される。そのため、ここで提案する問題解決の枠組みで、かなり精度よくいつ・どこで・何を・どれだけ・どのように栽培しているかを推定して、我が国の主要露地野菜の生産システムを同定できると判断した。

3.4 総合考察

栽培事例と生産・流通に係る統計値を網羅的に収集した。そして、栽培事例から栽培期間予測モデルを作成すると同

時に、品目・産地・収穫期ごとの栽培品種・栽培法の特徴（「どのように」栽培）をパラメータ化し、栽培好適領域を明らかにすると同時に、気候立地適性を定量的に評価する余裕という指標を定義した。その後、露地野菜の気候的最適立地配置を仮定して、旧市町村・旬という時空間分解能で「いつ」、「どこで」、「なにを」、「どれだけ」栽培しているかという問題に対し、ミニマックス法で余裕を評価指数、統計値を制約条件として、解を導出可能であることを実証した。対象は主要露地野菜5品目で、我が国全域である。

この結果、これまで分断していた作付け実態の収集・分

類・解釈という栽培研究、気象情報の整備や発育段階予測モデル開発という農業気象研究、生産出荷統計・市場統計ならびに土地利用情報の整備という行政サービスを統合化できた。そして、温暖化影響評価や様々な栽培技術・品種改良等の適応効果の見積もり、リアルタイムの青果物市況情報とメッシュ気象値を用いたデータ同化（露木 義・川畑 拓矢, 2008）による高精度な市場入荷量予測など長らく解決が要望されてきた課題の解決に道を開けたと考えている。

本報告では問題解決の可能性を示すことが主となり、栽培特性を示すパラメータの地域区分の検討が不十分であっ

図5. 県ごとに5品目36旬をミニマックス法で割り当てた場合の割り当て順に対する栽培好適領域の限界からの余裕（割り当て順が180未満なのは品目・旬によっては出荷がないため）。

たり、収穫面積の割り当てで先食い問題が発生したりして、残された課題も多いことも明らかになった。しかし、ここで提案する方法は断片的な情報を含む様々な情報を制約条件として幅広く利用できるため、利用可能な情報に対する適応性は極めて高い。精緻な発育段階予測モデルの導入も可能なため、今後の技術的な発展の可能性は極めて大きいと考える。

4. 摘 要

気象の年々変動や温暖化に対して信頼に足る市場入荷予測を行うには、野菜生産をシステムとして捉え、その構成要素である産地の季節ごとの作付け面積の推移と栽培法の特徴を詳細に推定する必要があると考え、その方法を検討した。そのため、まず入手可能なデータを網羅的に収集し、入手データを栽培事例と統計値に分類した。次に、市場統計を用いて産地の立地配置が気候立地的に最適化されているという仮定の妥当性を検証した。そして、栽培事例から、栽培期間予測モデルを作成し、栽培法の特徴と栽培好適領域を推定するとともに、気候立地適性を定量的に評価する余裕を栽培好適領域の限界からの距離として定義した。この後、最適気候立地配置を仮定して、生産・市場統計を用い、ミニマックス法で余裕を指標として気候立地の最適化を行い、品目ごと・旬ごとの旧市町村ごとの収穫面積を推定できることを示した。これらの結果、詳細な野菜生産システムの同定が可能であることが実証された。栽培法の特徴を示すパラメータの推定精度の向上や作付け時の制約条件の整備など今後の検討課題も多いが、入手データに矛盾しないほぼ妥当な立地配置を行えた。そのため、これまで分断していた作付け実態の収集・分類・解釈という栽培研究、気象情報の整備や発育段階予測モデル開発という農業気象研究、生産統計・市場統計ならびに土地利用情報の整備という行政サービスが統合化され、市場入荷予測や温暖化影響評価等に大きく貢献できると期待された。

謝 辞

本研究の実施にあたり、各種生産出荷統計の利用では農水省統計部、統計調査事務所、青果物市場統計・農業センサスの利用では農水省統計部、農林水産研究情報総合センター、3次メッシュ気象データ・土地利用面積の利用では農研機構の農業環境変動研究センター、青果物市場統計の利用では農水省統計部、農林水産研究情報総合センター、九州大学教授南石晃明氏にご協力いただいた。また、栽培事例・統計値の多くは農水省統計部による長年の調査結果を利用させていただいた。本研究の実施には、農研機構農業環境研究センターの中川博視温暖化適応策ユニット長に大変お世話になった。本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」(2013～2017)の資金に依った。膨大なデータと関係者の協力がなくては、本研究の遂行は不可能であった。ここに記して深く感謝する。

引用文献

神山和則・寶示戸雅之・佐々木寛幸・宮路広武, 2003: 国

土数値情報を利用した農業統計データのメッシュ化. 日本土壌肥料学雑誌 **74**(4), 415-424.

南石晃明, 1998: 青果物市況データベース NAPASS (改訂版 Ver.4.51) 利用方法. 東北農業試験場研究資料 **23**, 1-85.

農林水産省, 2017a: 農林水産省・作物統計>作況調査(野菜)・市町村別データ>, 市町村別の作付面積・収穫量・出荷量.

http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/index.html (アクセス日: 2017.9.20).

農林水産省, 2017b: 農林水産省・作物統計>作況調査(野菜)・野菜生産出荷統計>都道府県別の作付面積・収穫量・出荷量.

http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/index.html (アクセス日: 2017.9.20).

農林水産省大臣官房統計部, 2006: 農業センサス 2005. 農林水産研究情報総合センターの農林水産基礎数値データベース (NDB), <http://www.agropedia.affrc.go.jp/data> から 2010 年に入手.

農林水産省大臣官房統計部, 2011: 青果物市況情報. 農林水産研究情報総合センターから 2013 年にオフラインデータとして入手.

農林省統計情報部, 1981: 野菜作型別生育ステージ総覧. 農林統計協会, 東京, 387 pp.

農林省統計情報部, 1986: 野菜作型別生育ステージ総覧. 農林統計協会, 東京, 433 pp.

農林省統計情報部, 1992: 野菜作型別生育ステージ総覧. 農林統計協会, 東京, 483 pp.

農林省統計情報部, 1998: 野菜作型別生育ステージ総覧. 農林統計協会, 東京, 583 pp.

Ohara G, Takahashi H, Yoshida T, 2005: A new method for determining the planting season based on the regional climatic environment of crop locality. *Journal of Agricultural Meteorology* **60**, 1081-1084.

大原源二・吉田智一・高橋英博, 2005: 露地野菜の栽培適地・適作期ならびに導入適品種判定法の開発. 農業および園芸 **80**(10), 1071-1080.

清野 豁, 1990: メッシュデータによる農業気候資源評価と作物生産への利用. 農業および園芸 **65**(8), 925-931.

露木 義・川畑拓矢, 2008: 気象学におけるデータ同化. 気象研究ノート 第 **217** 号, 277 pp.

山川邦夫, 2003: 野菜の生態と作型—起源からみた生態特性と作型分化. 農山漁村文化協会, 396 pp.

野菜試編, 1982: 全国野菜・花きの種類別作型分布の実態とその呼称(野菜編). 野菜試験場研究資料 **14**, 355 pp.

野菜・茶試編, 1989: (改訂) 全国野菜・花きの種類別作型分布の実態とその呼称(野菜編). 野菜・茶業試験研究資料 **2**, p 333.

野菜・茶試編, 1998: 野菜の種類別作型一覧. 野菜試験場研究資料第 **8** 号, p 319.

野菜茶研編, 2010: 野菜の種類別作型一覧(2009 年度版). 野菜茶業研究所研究資料 第 **5** 号, 316 pp.