北海道十勝地方におけるワイン用ブドウ3品種の品質と 単収およびビンテージ評価に及ぼす栽培前年と当年の 気象条件の影響

西尾善太^{*,†}・東 億^{**}・下田星児^{***}・広田知良^{****}

* 東京農業大学農学部農学科 〒243-0034 神奈川県厚木市船子1737

** 池田町ブドウ・ブドウ酒研究所製造課研究開発係 〒083-0002 北海道中川郡池田町字清見83-4

*** 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター 芽室研究拠点
〒082-0081 北海道河西郡芽室町新生南9-4

**** 九州大学大学院農学研究院環境農学部 〒819-0395 福岡県福岡市西区大字元岡744

Impact of previous and current year's climatic conditions on the quality and yield of three wine grape varieties
and vintage evaluation in Tokachi, Hokkaido, Japan

Zenta NISHIO^{*,†}, Hakanu AZUMA^{**}, Seiji SHIMODA^{***} and Tomoyoshi HIROTA^{****}

* Department of Agriculture, Tokyo University of Agriculture, 1737 Funako, Atsugi, Kanagawa, 243-0034, Japan

** Manufacturing Division Research and Development, Tokachi-Ikeda Research Institute for Viticulture and Enology,
83-4 Kiyomi, Ikeda, Nakagawa-gun, Hokkaido, 083-0002, Japan

*** Hokkaido Agricultural Research Center, NARO, Memuro Upland Farming Research Division,
9-4 Shinsei-minami, Memuro, Kasai-gun, Hokkaido, 082-0081, Japan

**** Department of Agro-environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University,
744 Moto-oka, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395, Japan

Abstract

The wine grapes of Tokachi wine are produced at Ikeda in eastern Hokkaido, where the daily minimum air temperature drops below -20°C during winter. In this study, we investigated the impact of the previous and current year's climate conditions (air temperature, precipitations, and sunshine hours) on the fruit quality (Brix, acidity), yield of grapes and Tokachi wine's vintage evaluation using three varieties 'Kiyomi', 'Kiyomai', and 'Yamasachi' from 1995 to 2016. 'Kiyomi' is a clonal selection of the French-derived 'Seibel 13053', while 'Kiyomai' and 'Yamasachi' are cold hardy hybrids derived from crosses of 'Kiyomi' and *Vitis amurensis*. The mean temperature from April to September and rainfall from August to September showed significant positive and negative correlations with the vintage evaluation in Ikeda, respectively, as well as in Bordeaux, France. Brix value of "Kiyomi" was positively correlated with sunshine hours in August and September of the growing year, while its acidity was negatively correlated with the average daily maximum temperature of June and average high temperature of September of the growing year. On the other hand, the Brix value and acidity of 'Kiyomai' and 'Yamasachi' were strongly influenced by the climatic conditions of the previous year as well as the growing year. Acidity of 'Kiyomai' was negatively correlated with the average temperature in June and November of the previous year, while Brix value of 'Yamasachi' was positively correlated with the sunshine hours in July of the previous year. In cold regions such as Ikeda, recent global warming has been considered to have a positive effect on agricultural production. However, this study shows that not all conditions associated with warming are positive for Ikeda's grapes and Tokachi wine.

Key words: Global warming adaptation, Biennial bearing fruit tree, Variety reaction

キーワード: 温暖化適応, 隔年結果果樹, 品種反応

1. はじめに

気象条件は、ワイン用ブドウの糖度や酸度を左右し、ワインのビンテージ評価に大きな影響を及ぼす。一般に、ブドウは成熟前の気温が高いと糖度が上昇し、低いと酸度が上昇する (中山, 1993)。したがって、温暖地のワインは糖度が高く、寒冷地のワインは酸度が高い傾向がある。ブ

ドウに含まれる糖分は、発酵によってアルコールに変換される。通常のワインのアルコール濃度は10～13% (v/v) であるが、発酵でこの濃度に達するには20～23%の高い糖度が求められ、不足する場合は補糖が必要となる (奥田, 2017)。また赤ワイン用品種は、果実の果粒軟化が始まるヴェレゾン期に着色の評価に関わるアントシアニンが増加するので、そのステージに該当する8月下旬～9月上旬の池田町の夜温が十分に低い必要がある (Mori *et al.*, 2005)。

ワインの品質と気象条件の関係については、Amerine and Winkler (1944) が4月～10月の10℃を超える積算気

2021年3月20日 受付, 2021年8月29日 受理

[†]Corresponding author: zn206185@nodai.ac.jp

DOI:10.2480/cib.J-21-068

温の重要性を指摘し、同時期の積算気温によるブドウ品種の気候区分を提案した。Ashenfelter *et al.* (1995) は、1952～1980年のフランスのボルドー地方の赤ワインのビンテージ評価（収穫年の評価）に及ぼす気象条件の影響を解析し、1）栽培前年（以下前年）10月～栽培当年（以下当年）3月の降水量（冬の降水量）、2）当年4月～9月の平均気温（生育期の平均気温）、3）当年8月～9月の降水量（夏の降水量）、4）ワインの経過年数（経過年数）を説明変数とした回帰式を得た。

$$\text{ビンテージ評価} = 0.0017 \times (\text{冬の降水量}) + 0.616 \times (\text{生育期の平均気温}) - 0.00386 \times (\text{夏の降水量}) + 0.0238 \times (\text{経過年数}) - 12.145$$

広田ら（2017）は、2000年以降の北海道のワイナリーが増加した要因の一つとして、気候シフトの起きた1998年を境にして、北海道の後志地方、空知地方、上川地方の4月～10月の平均気温が、銘醸品種のピノ・ノワールの生育適温の14℃を上回るようになったことを明らかにした。最近の2017～2020年の池田町の4月～10月の平均気温は約13.7℃で、まだ14℃には達していない。しかし、今後も気温の上昇が続けば、池田町はこれまで以上にブドウの栽培適地になる可能性がある。幸い池田町のブドウの品質やワインのビンテージ評価は過去40年間にわたり記録されているので、これらに及ぼした気象条件の影響を解析できる。その結果、今後起こりうる温暖化の影響に関する新たな知見や具体的な適応策を得ることが期待される。

2. 十勝ワインの歴史

北海道のワインづくりは、1876年に開拓使が設立した札幌葡萄酒醸造場で始まった。最初のワインはヤマブドウでつくられ、その後は札幌官園で栽培された米国系のブドウが使われた。開拓使の廃止に伴い1887年に札幌葡萄酒製造場は民間に払い下げられ、その後は経営不振のため1913年に廃業した（札幌市、1991）。それから約50年後、北海道のワインづくりは十勝地方の池田町で復活した。

池田町は、1952年3月の十勝沖地震（M8.2、池田町震度6）と1953～1954年の2年連続の冷害で大きな被害を受けた。そこで後に池田町長になった丸谷金保氏の発案で、農業振興策の一つとして、町内に自生するヤマブドウの調査と研究を開始した。このヤマブドウは良質なワインに適するアムレンシス種（*Vitis amurensis*）とされ、1963年に全国の自治体で初となる酒類試験製造免許を取得しワイン醸造を開始した（池田町ブドウ・ブドウ酒研究所、2013）。

その翌年、第4回国際ワインコンペティション（ブタベスト）においてヤマブドウを使った十勝アイヌ葡萄酒が銅賞獲得に成功した。同年、ブドウ栽培の研究開発とワイン製造を行う池田町ブドウ・ブドウ酒研究所（以下「研究所」）を設立し、1966年に十勝ワインを販売開始した。これに刺激を受け、1972年に北海道富良野市がワインの製造・販売を開始、1973年に駒ヶ岳酒造（現、はこだてワイン）、1974年に余市ワインと北海道ワイン（小樽市）が相次いで誕生した。2000年以降は国産ワインブームとともに新規ワイナリーの設立が相次いだ。北海道内のワイナリーは2021年1月現在で48ヶ所にのぼり、特に近年は、池田町と

じ道東地方のワイナリー数の増加も目立つ（阿部、2021）。

ブドウの生育には10～20℃の年平均気温が適し、北半球は北緯30～50度に産地が多い（中山、1993）。海外の有名なワイン産地の年平均気温は、フランスボルドー地方のメリニャックは約13℃、ブルゴーニュ地方のディジョンやドイツのマンハイムは約11℃である（気象庁HP1）。一方、北海道東部の池田町の年平均気温は約6℃と低く、冬季は放射冷却により最低気温-20℃以下の日が続く、世界的にもブドウ栽培の北限にある。

3. 「清見」、「清舞」、「山幸」の品種特性

池田町は1961年に海外のブドウ40品種、5000本を導入して栽培試験を開始したが、数品種以外は冬季の凍害により枯死した。越冬した品種のほとんどは1964年の冷夏で枯死し、唯一、極早生で耐寒性の強いフランスの品種「セイベル13053」が生き残った。この約1500本の苗木のクローンから、果実の着色が優れ、果房が密着した個体を選抜し、1970年に品種「清見（きよみ）」を育成した。「清見」の耐寒性は他の海外品種と比べて優れるが、-20℃以下の低温に直接曝されると枯死する（Tsumura *et al.*, 2019）。このため池田町の「清見」は、秋の剪定後の枝に土を被せて冬季の低温から保護する、土中覆土という手間のかかる栽培法を必要とする。この栽培法は、労力がかかるだけではなく、春に機械で枝を掘り起こす排土作業の際に樹に損傷を与えることがあり、樹の寿命を縮めて生産性を低下させるという問題もあった。

一方、十勝地方に自生しているヤマブドウは、非常に強い耐寒性を持つことが知られていた（Kasuga *et al.*, 2020）。そこで研究所では、「清見」とヤマブドウを交雑した21,000種類を超える雑種系統の中から、最重要目標である耐寒性の優れる系統の選抜に取り組み、品種「清舞（きよまい）」と「山幸（やまさち）」を育成した。「清舞」は、日高山脈麓の戸蔭別川沿いに自生していたヤマブドウ雄株の「ヤマブドウトツバツ」を父本とし、1975年に「清見」に交配した選抜系統から、2000年に品種登録された。「山幸」は池田町様舞地区から採取したヤマブドウ雄株の「ヤマブドウ6号園20」を父本とし、1978年に「清見」に交配した選抜系統から、2006年に品種登録された。「山幸」の凍害発生温度は約-30℃（Tsumura *et al.*, 2019; Kasuga *et al.*, 2020）で「清舞」の耐寒性も同程度に優れる。また、高い糖度と酸度を示すヤマブドウの特性を受け継いでいる（広瀬、2003）。

池田町の「清見」は、11月中旬から枝を土に埋める土中覆土を行い、4月下旬に土中から枝を掘り出し、5月上旬に萌芽を始める。耐寒性の優れる「清舞」と「山幸」はこれを必要としないので、萌芽直後から光合成が可能となる。萌芽時期は「清舞」が若干早く4月下旬、「山幸」は「清見」と同じ5月上旬である。萌芽した新梢の展葉後に樹勢と花房数を整えるために行う芽かきは、成長の早い「清舞」と「山幸」は6月初め、「清見」は6月中旬頃に行う。開花期は、「清舞」と「山幸」は6月中旬～下旬、「清見」は6月下旬～7月上旬である。収穫期は、最も早い「清見」は9月下旬～10月上旬、「清舞」と「山幸」は10月中旬以降である。

それぞれの品種から醸造したワインは、「清見」はうすめの色合いで強い酸味と軽快な味わい、「清舞」は母本の「清見」と似た色合いと味わい、「山幸」は父本のヤマブドウに似て色が濃く渋味や味わいの深みを持つと評価される（池田町ブドウ・ブドウ酒研究所, 2013）。また「山幸」は、「甲州」、「マスカット・ベリーA」に続く日本で3番目の国際ブドウ品種として、2020年にOIV（International Organization of Vine and Wine）に登録され、ワインに品種名を付して海外へ輸出することが可能となった。

そこで本研究では、ワイン用ブドウ品種の「清見」、「清舞」、「山幸」を対象として、単収、酸度、糖度およびワインのビンテージ評価に気象条件が及ぼす影響を解析した。永年性作物のブドウでは、一年ごとに豊作（表年）と不作（裏年）を繰り返す隔年結果がみられる。特に寒冷地の池田町は生育期間が短く、収穫前年の収量や品質が影響する可能性がある。その影響を含めて前年の気象条件から説明

表1. 北海道池田町におけるワイン用ブドウ品種「清見」、「清舞」および「山幸」の単収、酸度、糖度の平均と標準偏差

品種	単収 (kg/10a)		酸度 (g/l)		糖度 (%)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
清見	391	142	15.3	1.7	16.2	1.6
清舞	501	144	20.9	5.7	20.2	5.2
山幸	556	136	16.7	3.7	20.2	4.2

「清見」は1995～2010年の値、「清舞」と「山幸」は2001～2016年の値

できれば非常に有益な情報となる。このため「清見」、「清舞」および「山幸」の前年と当年の気象条件に対する反応の差異を比較した。

4. 材料および方法

4.1 単収および品質データ

単収および品質データは、研究所の直営圃場（池田町清見地区および千代田地区）の約35ヘクタールにおいて栽培されているワイン用ブドウ品種「清見」、「清舞」、「山幸」の単収（10a当たり収量）、酸度（TA）、糖度（Brix）を用いた。単収はそれぞれの品種の収穫量を作付面積で除して算出した。酸度と糖度は、園地から無作為に収穫量に応じたサンプリング（400kgの収穫1回につき10房程度から200mlの果汁を採取）して測定した平均を用いた。解析には研究所直営圃場の単収、糖度および酸度のすべての記録が揃う1995年以降のデータを用いた。「清見」、「清舞」、「山幸」の単収、酸度、糖度の平均および標準偏差を表1に示した。

4.2 気象データと統計解析

気象データは、研究所に隣接する池田町清見のアメダス観測地の月別の平均気温、平均日最低気温、平均日最高気温、降水量、日照時間のデータ（気象庁）を用いた。1995～2016年における年間平均気温は、池田町は6.0℃、Ashenfelter *et al.* (1995) が解析したフランスボルドー地方のメリニャックは13.8℃、年間平均降水量は、池田町は925.4mm、メリニャックは886.0mmであった（図1）。

主力品種の移行に伴い、「清見」は1995～2010年の

図1. 北海道池田町とフランスボルドー地方メリニャックの月別平均気温および月別平均降水量（1995～2016年）。

気象庁 HP：世界の天候データツール <https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/monitor/index.html>

過去の気象データ <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/> より作成

データを、「清舞」と「山幸」は2001～2016年のデータを解析に用いた。直営圃場から収穫したブドウで生産されたワインのビンテージ評価は、研究所の技術職員による官能検査で、1（劣る）～5（優れる）の5段階で評価された。「清舞」と「山幸」は混合して醸造されるため、ビンテージ評価は同一のデータを用いた。統計解析にはエクセル統計（株式会社社会情報サービス）を用いた。単収、酸度、糖度、ビンテージ評価について、有意な相関を示した月別の気象条件を説明変数として重回帰分析を行った。説明変数には各データから平均値を減じて標準偏差で除した標準化データを用いた。変数選択には投入および除去の基準となるP値を0.1として増減法を用いた。他の作物の気象反応と類似点を検証するため、北海道十勝総合振興局の統計データを用いた（北海道十勝総合振興局 HP）。

5. 結果および考察

5.1 池田町における単収、品質、ビンテージ評価とフランスボルドー地方との比較

「清見」、「清舞」、「山幸」の単収、酸度、糖度と当年4月～9月の平均気温の推移を図2に示した。単収は、「山幸」が最も高く、「清見」が最も低い年が多かった。酸度は「清舞」が最も高く、「山幸」は「清見」よりやや高かった。「清舞」、「山幸」の糖度は「清見」と比べて約4%高く、「清舞」と「山幸」は同程度であった。池田町の4月～9月の平均気温および3品種の糖度は、年の経過と有意な正の相関を示した。これは、広田ら（2017）の指摘する1998年以降のビンテージ評価上昇とピノ・ノワールの産地拡大と共通する気象反応とみられた。

池田町およびフランスボルドー地方における気象条件とビンテージ評価との関係を表2に示した。当年4月～9月の平均気温は池田町が13.8℃でボルドー地方より約3℃低く、当年8月～9月の降水量は池田町が267mmでボルドー地方の約1.8倍と多く、前年10月～当年3月の降水量は池田町が300mmでボルドー地方の約半分であった。池田町、ボルドー地方ともに当年4月～9月の平均気温は、ビンテージ評価と正の相関を示し、当年8月～9月の降水量はビンテージ評価と負の相関を示した。ビンテージ評価との関係は池田町、ボルドー地方とも、当年4月～9月の平均気温では正の相関を、当年8月～9月の降水量では負の相関を示したものの、前年10月～当年3月の降水量では相関を示さなかった。ボルドー地方のビンテージ評価の説明変数として採択された3つの気象条件を池田町のビンテージ評価の説明変数として重回帰分析を行ったところ、当年4月～9月の平均気温および当年8月～9月の降水量は説明変数（標準偏回帰係数はそれぞれ0.635、-0.321）として採択され、これらはブドウ全般で共通すると見られた。Ashenfelter *et al.* (1995) と異なる点として、寒冷な池田町はフランス南部に位置するボルドー地方と異なり、平均気温が氷点下の11月下旬～3月中旬は雪が降水量として観測されるため土壌水分に及ぼす影響が異なるが、前年10月～当年3月の降水量は両地ともビンテージ評価と相関を示さなかった（図1）。

図2. 北海道池田町におけるワイン用ブドウ3品種の単収、酸度、糖度と4月～9月の平均気温との推移。清見は1995～2010年の値、清舞と山幸は2001～2016年の値を示す。糖度と年次の相関関係：「清見」（ $r=0.850$, $P<0.01$ ）, 「清舞」（ $r=0.679$, $P<0.01$ ）, 「山幸」（ $r=0.681$, $P<0.01$ ）。4月～9月の平均気温と年次の相関関係（ $r=0.598$, $P<0.01$ ）。

5.2 「清見」の単収、酸度、糖度、ビンテージ評価に影響を及ぼす気象条件

1995～2010年の「清見」の単収、酸度、糖度およびビンテージ評価と相関を示した気象条件との重回帰分析の結果を図3に示した。糖度は、登熟期後半に当たる当年8月および当年9月の日照時間は正の相関を示し、説明変数として採択された。酸度は、開花期の当年6月の平均気温および収穫期の当年9月の平均日最高気温と負の相関を示し、説明変数として採択された。単収は、当年の

表 2. 北海道池田町およびフランスボルドー地方における気象条件とワインのビンテージ評価の相関係数

栽培当年および栽培前年の気象条件	北海道池田町		フランスボルドー地方	
	平均	ビンテージ評価との相関係数	平均	ビンテージ評価との相関係数
栽培当年 4 月～9 月の平均気温 (°C)	13.8	0.688**	16.4	0.668**
栽培当年 8 月～9 月の降水量 (ml)	267.5	-0.427*	145.9	-0.507**
栽培前年 10 月～栽培当年 3 月の降水量 (ml)	299.9	0.021	596.4	0.135

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, 北海道池田町は 1995 ～ 2016 年の値, フランスボルドー地方は 1952 ～ 1980 年のメリニャックの値 (Ashenfelter *et al.*, 1995)

太線は変数増減法で採択されたモデル, 太字は標準化偏回帰係数, () 内の数字は相関係数で, 破線は無相関であることを示す ($P > 0.05$)

図 3. ブドウ品種「清見」の単収, 酸度, 糖度およびビンテージ評価と月別気象条件との相関関係および重回帰分析による標準偏回帰係数 (1995 ～ 2010 年)

気象条件とは相関を示さず, 前年 3 月の気温と負の相関を示した。

永年性作物であるブドウは, 豊作と不作を一年毎に繰り返す隔年結果がみられる (Keller *et al.*, 2004)。「清見」の単収でこの関係が見られた理由として, 前年 3 月の気温が高い (低い) 場合は融雪期の前進 (遅延) により, 生育が早まり (遅れて), 開花や着果が促進 (抑制) される。このため, 果実への転流に利用される同化産物が増加 (減少) し, 越冬時の同化産物の蓄積が減少 (増加) する。その結果, 当年の生育が抑制 (促進) され収量が減少 (増加) したと見られる。また「清見」は, 凍害に弱く, 春の萌芽が遅いこと, また秋の落葉が早いことから同化期間が短く, 平均単収は「清舞」, 「山幸」と比べて約 20% 低い。「清見」は池田町の寒冷な環境に十分適応していないため, 当年の気象条件が単収に反映されにくいと見られた。「清見」のビンテージ評価は, 前年の開花期にあたる 6 月の降

水量と正の相関を示し, 当年 8 月の最高気温と正の相関, 当年 9 月の降水量と負の相関を示した。一方, 前年 6 月の降水量によるビンテージ評価への影響は, ボルドー地方では見られなかった。

前年の開花期にあたる 6 月の降雨が多い (少ない) 場合, 花振るいと呼ばれる結実不良が増加 (減少) して, 果実への同化産物の転流が抑制 (促進) される。すると越冬時の同化産物が増加 (減少) して, 当年の糖度の増加 (減少) および酸度の減少 (増加) にはたらき, その結果, ビンテージ評価が上昇 (下降) したと見られた。また, 生育期の 8 月の気温が上昇 (下降) すると糖度が増加 (減少) し, 9 月の降水量が多い (少ない) 場合は糖度が減少 (増加) し, ビンテージ評価が上昇 (下降) したとみられた。また, ビンテージ評価と糖度は, 前年 12 月の降水量 (降雪量) と正の相関を示し, 積雪が凍害を防ぐと見られた。「清見」のビンテージ評価は, 標準化した気象条件を説明

太線は変数増減法で採択されたモデル，太字は標準化偏回帰係数，（ ）内の数字は相関係数で，破線は無相関であることを示す ($P > 0.05$)

図4. ブドウ品種「清舞」の単収，酸度，糖度およびビンテージ評価と月別気象条件との相関関係および重回帰分析による標準偏回帰係数（2001～2016年）

太線は変数増減法で採択されたモデル，太字は標準化偏回帰係数，（ ）内の数字は相関係数で，破線は無相関であることを示す ($P > 0.05$)

図5. ブドウ品種「山幸」の単収，酸度，糖度およびビンテージ評価と月別気象条件との相関関係および重回帰分析による標準偏回帰係数（2001～2016年）

変数として以下の回帰式（決定係数 0.913）が得られた。

$$\begin{aligned} \text{「清見」のビンテージ評価} = & 0.328 \times (\text{前年 6 月の降水量}) \\ & + 0.467 \times (\text{当年 8 月の最高気温}) - 0.436 \times (\text{当年 9 月の降水量}) \end{aligned}$$

5.3 「清舞」および「山幸」の単収、酸度、糖度、ビンテージ評価に影響を及ぼす気象条件

2001～2016 年の「清舞」, 「山幸」の単収、酸度、糖度およびビンテージ評価と相関を示した気象条件との重回帰分析の結果を図 4, 5 にそれぞれ示した。当年 3 月の最高気温は、両品種で共通して糖度と正の相関を示し、説明変数として採択された。耐寒性の優れる「清舞」と「山幸」は、越冬中の地上部が露出している。このため、融雪期の当年 3 月の気温が高い（低い）と、融雪期が早まり（遅れて）、萌芽と展葉が早まる（遅れる）ことにより同化が促進（抑制）され、糖度の増加（減少）にはたらくと見られた。また、前年 7 月の日照時間は「山幸」の糖度と正の相関を示し、説明変数として採択された。池田町は寒流の流れる北海道太平洋側に位置するため夏季は曇天が多い。年間を通した 1 日あたりの平均日照時間は 5.5 時間であるが、7 月の 1 日あたりの平均日照時間は 3.6 時間で、月別平均で最短となる（気象庁 HP2）。このため前年 7 月の日照が多い（少ない）と、「清舞」と比べて生育の旺盛な「山幸」の同化産物が増加（減少）し、当年の糖度の増加（減少）にはたらくと見られた。なお、解析期間における 7 月の気温と日照時間の間に相関は見られなかった。

一般に、ブドウの成熟前の気温が低いと酸度は上昇する（中山, 1993）。「山幸」の酸度は、当年 7 月の平均気温および当年 9 月の平均日最高気温と負の相関を示し、説明変数として採択された。一方、「清舞」の酸度は、前年 6 月の平均日最低気温と正の相関、前年 11 月の平均気温と負の相関を示し、説明変数として採択された。池田町の 6 月の最低気温は、2003 年、2011 年に氷点下を記録し、弱風条件で降霜が発生するとされる 4℃ 以下を記録した年は、1995～2016 年までに 9 か年見られた。6 月の低温は、開花期が早い「清舞」の花房の生育を遅延させ、ワインの品質に負の影響を与える。前年 6 月の最低気温が低い（高い）と、前年の「清舞」の花房の生育が抑制（促進）され、果実への転流に利用される同化産物が減少（増加）する。その結果、前年のビンテージ評価が低下（向上）するが、越冬時の同化産物の蓄積は増加（減少）して、当年の酸度の減少（増加）にはたらくと見られた。また「清舞」は 3 品種の中で唯一、登熟期の気温が上昇しても酸度が低下しなかった。これは、今後起こりうる温暖化条件において、酸味が重要なワインの品質維持に有益な特性になりうる。

「清舞」の単収は、前年 11 月の日照時間と正の相関、当年 8 月の降水量と負の相関を示し、説明変数として採択された。また「清舞」の単収は、前年 3 月の日照時間と正の相関、前年 5 月の平均気温と負の相関、前年 7 月の最高気温と負の相関、前年 11 月の降水量と負の相関を示し、多くの前年の気象条件の影響を受けた。「清舞」の平均単収は「清見」より高いが、「山幸」と比べて変動が大きく（図 2）、前年の気象条件に応じた生育量や着果量の適切な

管理が必要と見られた。一方、「山幸」の単収は 3 品種の中で安定して高い傾向を示し、唯一、当年 6 月の降水量との間に負の相関を示した。これは開花期の降雨により花振るいを起こしやすいヤマブドウの特性（大野・鈴木, 2006）を受け継いだことによると見られた。「清見」および「山幸」のビンテージ評価は、標準化した気象条件を説明変数として以下の回帰式（決定係数 0.782）が得られた。

$$\begin{aligned} \text{「清舞」, 「山幸」のビンテージ評価} = & 0.658 \times (\text{当年 8 月の日照時間}) - 0.613 \times (\text{当年 9 月の降水量}) \end{aligned}$$

5.4 「清見」, 「清舞」, 「山幸」の気象反応とヤマブドウとの関係

「清見」の単収は、前年 3 月の平均気温と相関を示した。また、「清舞」の単収は、前年 3 月の日照時間、前年 5 月の気温、前年 7 月の最高気温、前年 11 月の日照時間および降水量と、多くの前年の気象条件と相関を示した。一方、「山幸」の単収は、唯一、前年の気象条件の影響を受けなかった。「清舞」と「山幸」は、「清見」を共通の母本とし、それぞれ異なるヤマブドウ系統の雄株を父本（清舞「ヤマブドウトッタベツ♂」、山幸「ヤマブドウ 6 号園 20 ♀」）として育成された。「清舞」と「山幸」の父本であるヤマブドウは、雌雄異株のため結実が不安定となりやすく（山下, 2019）、樹勢が強すぎると花振るいや隔年結果が発生しやすい（大野・鈴木, 2006）。したがって、両品種の単収の差異は、父本のヤマブドウ系統の遺伝的な影響に由来すると考えられた。単収のように非常に重要な農業特性がそれぞれの父本となった野生のヤマブドウに由来することは興味深く、今後解析が進むことが期待される。

糖度および酸度と気象条件の関係は、「清見」は栽培当年を中心に反応する一方、「清舞」と「山幸」は当年と前年の両方に反応した。ヤマブドウ由来の「清舞」と「山幸」は、耐寒性が優れ、新梢の展葉および開花期が早く、収穫期は遅いため、「清見」より同化期間が長い。このため、同化蓄積の多い「清舞」と「山幸」の品質には前年の気象条件が影響しやすく、同化蓄積の少ない「清見」の品質には、当年の気象条件が影響しやすいと見られた。

3 品種のビンテージ評価は、当年 8 月の日照時間および最高気温と正の相関、当年 9 月の降水量と負の相関を示し、これらはフランスボルドー地方と共通した。一方「清見」は、開花期の前年 6 月の気象条件の影響を示し、とくに寒冷地の永年性作物における気象条件との間で考慮すべき重要な関係と見られた。

今回得られた結果は、気象条件の厳しい寒冷地のブドウにおいて、前年の気象条件の影響を考慮し、適切な栽培管理によって優れた品質のワインを安定生産するための重要な知見になると考えられる。例えば前年の気象条件から単収の増加が予想される場合、強めの芽かきや摘果を行うことにより着果量を調整し、糖度や酸度への影響が予想される場合には、除葉や摘果等により同化産物の分配を調整し、収量や品質の変動を最小限に抑えることが期待される。また、今後は温暖地等の異なる地域において、今回と同様に前年の気象条件の影響を解析することにより、気象条件とブドウの関係を複層的に分析することが可能にな

る。将来は、さまざまな産地の気象データと生育データ等を大量に収集し、単収、糖度、酸度、ビンテージ評価等との関係を解析することにより、植物の状態をリアルタイムで評価し、必要な栽培管理を直ちに実施することも可能になると考えられる。

池田町のような寒冷地では、温暖化は農業に対してプラスに働くことが多いとされる。「清見」に置き換わった「清舞」と「山幸」は平均糖度が高く、近年の気温上昇によりさらに増加傾向にある。このため、5段階評価のビンテージ評価が4以上の年は、1995～2005年は4か年であったのに対し、2006～2016年は8か年と2倍に増加している（池田町ブドウ・ブドウ酒研究所）。

その一方、今回の解析から、気温上昇の全てが池田町のブドウやビンテージ評価に対してプラスに働くわけではないことが分かる。例えば、前年3月の気温が高い場合は当年の「清見」の単収が低下し、前年5月の気温が高い場合は当年の「清舞」の単収が低下する。近年の日本付近では、平均気温の上昇とともに大雨および短時間強雨の頻度が増加傾向にある（文部科学省・気象庁、2020）。6月の降水量が増加した場合は「山幸」の単収が低下し、9月の降水量が増加した場合はすべての品種でビンテージ評価が低下する。今回の結果から、前年の気象条件の影響を考慮した上で、品種ごとに適切な栽培管理を行うことにより、今後起こりうる温暖化条件においても優れた品質のワインの安定生産が期待される。

5.5 十勝ワインのビンテージ評価と十勝地方の作物収量との関係

1995～2016年のビンテージ評価と、十勝地方で栽培されている11種類の作物の単収の相関係数を表3に示した。ビンテージ評価は、ダイズ、ナガイモ、アズキ、イネの単収と正の相関を示した。これら4つの作物は、夏季の日射量が多く高温の場合に収量が増加するという共通点がある。特にダイズやナガイモの単収とビンテージ評価の間には強い正の相関がみられ、気象条件の反応に類似点が多いことが分かる。

一方、ビンテージ評価とジャガイモの単収との間には負の相関が見られた。Shimoda *et al.* (2018) は、2010年に

表3. 十勝ワインのビンテージ評価と十勝地方の作物の単収との相関係数

十勝地方の作物	ビンテージチャートとの相関係数
ダイズ	0.736**
ナガイモ	0.626**
アズキ	0.550**
イネ	0.491*
インゲン	0.172
ニンジン	0.041
テンサイ	0.061
ゴボウ	0.007
コムギ	-0.060
タマネギ	-0.189
ジャガイモ	-0.427*

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, 1995～2016年の値

降は7月～9月の夏期間の高温が原因で北海道のジャガイモ収量が低下したことを報告している。これら複数の作物が気象条件に対して同調あるいは反駁して反応することを利用すれば、適切な作物の組み合わせを計画できる。今後起こりうる温暖化に伴い、作物の気象反応は変化していくと見られるため、今回のような解析を引き続き進める必要がある。

6. まとめ

寒冷な気象条件でブドウ栽培の北限に近い北海道池田町における1995～2016年のワイン用ブドウ3品種の単収、酸度、糖度、ワインのビンテージ評価に及ぼす栽培前年と当年の気象条件の影響を解析した。ビンテージ評価は、フランスボルドー地方と同様に、栽培当年の4月～9月の平均気温と8月～9月の降水量の影響を強く受けていた。一方、「清見」のビンテージ評価や「清舞」の酸度、「山幸」の糖度は、前年の気象条件の影響を強く受けていた。またビンテージ評価は、十勝地方のナガイモ、ダイズ、アズキ、イネと正の相関、ジャガイモと負の相関を示した。前年の気象条件の影響を考慮した上で、適切な管理を行うことにより、今後起こりうる温暖化条件においても優れた品質のワインが安定生産されることが期待された。

謝 辞

本研究は科学研究費補助金（19H00963）の助成を受けたものである。

引用文献

- 阿部眞久, 2021: 20年で6倍, 48ワイナリーに 食や観光と連携し産地づくりを 現状と課題. ニューカントリー **802**, 14-16.
- Amerine MA, Winkler AJ, 1944: Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia* **15**, 493-675.
- Ashenfelter O, Ashmore D, Lalonde R, 1995: Bordeaux wine vintage quality and the weather. *Chance* **8**, 7-14.
- 広瀬秀司, 2003: 耐寒性ワイン用ブドウ品種の育成とその醸造. *Journal of ASEV JAPAN* **14**, 163-165.
- 広田知良・山崎太地・安井美裕・古川準三・丹羽勝久・根本 学・濱崎孝弘・下田星児・菅野洋光・西尾善太, 2017: 気候変動による北海道におけるワイン産地の確立 - 1998年以降のピノ・ノワールへの正の影響 -. 生物と気象 **17**, 34-45.
- 北海道十勝総合振興局 HP, 十勝の農業. <http://www.tokachi.pref.hokkaido.lg.jp/ss/num/tokachinonougyou.html> (アクセス日: 2021/07/20).
- 池田町ブドウ・ブドウ酒研究所, 2013: 十勝ワイン・ジェネシス 池田町ブドウ・ブドウ酒研究所創世記物語. pp. 1-200.
- 池田町ブドウ・ブドウ酒研究所, ビンテージチャート. <https://www.tokachi-wine.com/vintagechart.html> (アクセス日: 2021/07/20).
- Kasuga J, Tsumura Y, Kondoh D *et al.*, 2020: Cryo-scanning electron microscopy reveals that supercooling of overwintering buds of freezing-resistant interspecific hybrid

- grape ‘Yamasachi’ is accompanied by partial dehydration. *Journal of Plant Physiology* **253**, 153248.
- Keller M, Mills LJ, Wample RL *et al.*, 2004: Crop load management in concord grapes using different pruning techniques. *American Journal Enology and Viticulture* **55**, 35-50.
- 気象庁 HP1, 世界の天候データツール. <https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/monitor/index.html> (アクセス日: 2021/07/20).
- 気象庁 HP2, 過去の気象データ. <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/> (アクセス日: 2021/07/20).
- 文部科学省・気象庁, 2020: 日本の気候変動 2020. pp. 1-49.
- Mori K, Sugaya S, Gemma H, 2005: Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition. *Scientia Horticulture* **105**, 319-330.
- 中山正男, 1993: 日本におけるワイン用原料ブドウ栽培. 醸協 **88**, 654-659.
- 大野 浩・鈴木 哲, 2006: ヤマブドウにおける人工授粉, 植物成長調整剤処理が結実に与える影響. 東北農業研究 **59**, 167-168.
- 奥田 徹, 2017: ワイン製造のための原料ブドウの品質. 日本食品科学工学会誌 **64**, 278-282.
- 札幌市, 1991: 新札幌市史 第2巻 通史2 第六編 道都への出発 第二章 商工業の進展 第一節 官営工場の払下げと民間企業の勃興 ― 官営工場の払下げ 官有諸工場の処分. pp. 660.
- Shimoda S, Kanno H, Hirota T, 2018: Time series analysis of temperature and rainfall-based weather aggregation reveals significant correlations between climate turning points and potato (*Solanum tuberosum* L) yield trends in Japan. *Agricultural and Forest Meteorology* **263**, 147-155.
- Tsumura Y, Azuma H, Takahashi Y *et al.*, 2019: Cold hardiness of wine grape variety ‘Kiyomi’ during dormant season in Tokachi area. *Cryobiology and Cryotechnology* **65**, 75-79.
- 山下裕之, 2019: 日本産野生ブドウの育種的利用. 農業および園芸 **94**, 305-313.