



ワインのテロワールとブドウの成分 ～日本ワインのテロワール解明に向けて～

小山 和哉

良いワインは良いブドウから

ワインとは、基本的にブドウを原料として、ワイン酵母の助けを借りて製造されたお酒のことを指す。ブドウは微生物によって変敗しやすく、長期にわたる保存がきかず、また輸送にも向いていないため、ワインの生産地域はブドウの栽培地域となっていることが多い。実際に海外の名醸地では、ワイナリー〔例として、シャトー（フランスボルドー）、シュロース（ドイツラインガウ）〕の周りにブドウ畑が広がっている光景が見られるが、多くの場合、ワイン生産者とブドウ栽培者は同一である。その土地の気候風土により適したブドウ品種が決まり、それがその地域のワインの特性に反映されていると考えられている。良いワインは良いブドウからといわれるように、ワインにとって原料であるブドウはもっとも重要な要素である。

一方で、日本の伝統的な酒類である清酒の場合は、名醸地において必ずしも地域の酒造好適米のみが使用されるわけではなく、他産地の米が使用されるケースも多い。また、各地域による酒質の違いは原料よりもむしろ、醸造方法の違いに起因する割合が高いといった点がワインと異なる。

ワイン醸造の基本—ブドウの特徴をひきだす

ワインが発祥した乾燥した地域では、水分を豊富に蓄積するブドウ果実は貴重な水供給源であったと思われる。ブドウ果実は放置しておくと、酵母、かびなど微生物によって腐敗してしまうため、含まれる糖分（グルコースおよびフルクトース）を自生酵母による発酵により微生物的に安定なエタノールに変換してやることによって、ブドウ中の水分や香味成分を長期にわたって保存できるようになった。現在のワイン醸造においては、雑菌のコンタミやその働きを抑え健全な発酵を行わせるために、選抜酵母が使用されるとともに亜硫酸塩の使用が行われる。亜硫酸の歴史はワイン醸造と同様古く、切っても切り離せないが、これは、抗菌作用や酸化防止作用（果汁中の褐変酵素の作用を抑える）など、醸造上の有益な作用を持つからである。

一方、ワインは原料であるブドウの特徴を生かした酒類であり、健全な発酵を行うことに加えて、ワインの品質にとって重要と考えられる成分を含んだブドウ品種や、求める酒質に応じてそれら成分を上手に溶出することが醸造の基本と考えられる。赤ワイン醸造においては、ブドウの果皮および種子と一緒に発酵させる醸し発酵という工程において、色や渋み（ボディ）成分をワインの



カベルネ・ソーヴィニオン

ソーヴィニオン・ブラン

マスカット・ベリーA

甲州

図1. ワイン用ブドウ品種

タイプに合わせて果皮や種子から溶出させることが重要であるが、白ワイン醸造では、果汁の調製段階において、香り成分を十分に溶出させるとともに苦み・渋みなどを出さないことが重要となる。醸造用ブドウそのものは香りがなくとも、香りの前駆体（配糖体）は果皮を中心に豊富に含まれており（言い換えると、そのようなブドウが醸造用ブドウとして選抜されてきた）、溶出された香りの前駆体は、酵母が生産するβグリコシダーゼや熟成中の化学変化によって糖鎖の部分が切断されることにより、ワイン中で初めて香りとして感知される。

醸造用ブドウの特徴

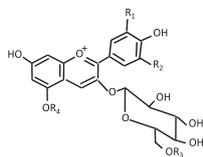
醸造用ブドウの特徴は、生食用と比較して高糖度であること、また、酸が適度に高いことなどが重要である。酸はワインの味の骨格として重要であるとともに、雑菌を抑え、健全な発酵に導くためにも重要な要素となる。また、小粒であることも好ましい性質である。これは、果粒重あたりの果皮や種子の占める比率が高いことで、それらから溶出する好ましい成分を増加させ、ワインの凝縮感が高まるためである。さらに、前述したように赤ワイン用ブドウであれば、果皮などに色や渋み（ボディ感）に関連する成分を、白ワイン用ブドウでは、香氣成分前駆体を豊富に含んでいることなどがそれぞれの醸造用ブドウとして好ましい性質と考えられる。

これらの特徴はブドウの品種により大きな違いがみられる（図1）。主要な醸造用ブドウ品種が含まれるヨーロッパ系ブドウである *Vitis vinifera*（ワインをつくるブドウという意味を持つ）には、きわめて多くの品種があるが、各品種特有の香味を持っている。たとえば、赤ワイン用ブドウであるカベルネソーヴィニオンは、小粒で晩熟の品種であるが、栽培に適した地域で育つと濃色かつボディ感が高いワインになるなど、醸造用ブドウとして優れた特性を持っている。品種の特性である特徴的なピーマン様の香り（メトキシピラジンという香氣成分が寄与する）があるが、ブドウが熟さない年度では、ブドウ果粒中に過剰に残り、ワイン中においてオフフレーバーと認知される¹⁾。また、白ワイン用ブドウであるソーヴィニオンブランより醸造されたワインでは、少し柑橘を連想するような特徴的な香り（猫尿臭とも呼ばれる）を持つことが知られている。

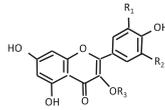
日本では、ヨーロッパ系ブドウは病気に弱いため、耐病性のあるアメリカ系のブドウとの交配種（*Vitis labruscana*）が生食用とワイン用兼用品種として広く栽培されている。日本で育種された赤ワイン用品種であるマスカットベリーAから出来上がるワインは色やボディ感としては低めの傾向はみられるものの、フルーティなアロマが特徴的なワインとなる。完熟期を過ぎるころから、果粒中にフラネオールというイチゴ様香り成

フェノール化合物

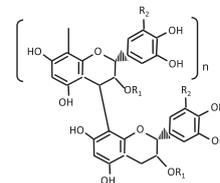
アントシアニン



フラボノール

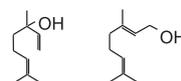


タンニン(縮合型)



ブドウに含まれる配糖体から生じる香り成分

テルペン化合物



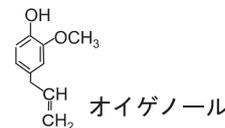
リナロール ゲラニオール

ノルイソプレノイド



β-ダマセノン

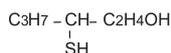
揮発性フェノール



オイゲノール

品種特性香氣成分(微量成分)

チオール化合物



3-メルカプトヘキサノール(3MH)

メトキシピラジン



イブチルメトキシピラジン(IBMP)

図2. ワイン中の品質関連成分

分が顕著に蓄積されることが近年明らかとなった²⁾。このように、さまざまな品種のワインの香味の特徴は多岐にわたるが、これはブドウ果実に含まれる多様な二次代謝成分に起因している。

多様な品質関連成分とその研究

フェノール化合物 赤ワインの品質への寄与がもっとも大きい成分としてフェノール化合物がある(図2)。フェノール化合物のうち、若い赤ワインの色にはアントシアニン、フラボノール(補助色素として働く)などの寄与が大きく、赤ワイン用ブドウでは、果皮にこれらの成分が高蓄積することが重要である³⁾。渋みを持ち、ワインのボディ感とも関連の深いタンニン(プロアントシアニジンと呼ばれる)は果皮および種子の両者に高蓄積しており、醸し発酵中に他のフェノール化合物とともにワイン中に溶出する。タンニンはカテキン類が重合した基本構造を持っていると考えられるが、さまざまな組成や大きさを持つ高分子化合物からなる混合物であり、その複雑さのため研究は遅れていた。近年、タンニンの構造についてもメスが入り、4種類のカテキン類の構成割合や平均重合度などの解析が行われている。果皮タンニンは種子タンニンと比較して、官能的にみてよりなめらかであるなど、ポジティブな側面を持つと経験的にいわれているが、構成割合や重合度において顕著な違いがみられ、渋みの質の違いを説明しうる根拠と考えられた⁴⁾。しかし、ワイン中で、タンニンは多糖類など他の高分子と会合したコロイド状態で存在するといわれ、これらの相互作用がワインの味わいにどのように影響しているかについては不明な点が多く、今後の研究が待たれる。

品種特性香り成分 ワイン中には多様な香りが存在し、消費者からみたワインの魅力の一つとなっている。特に白ワインでは、発酵中に酵母が生成するエステルなどのフルーティな香りに加えて、品種によっても大きく異なるブドウ由来のさまざまな香りがその特徴となっている(図2)。たとえば、マスカット系の香りであるテルペン化合物、醸造中や熟成中に生じる多様な香り(β -ダマセノン、リンゴのコンポート; TDN, 灯油様)を持つノルイソプレノイド類などは品種特性に関わる望ましい香り成分と考えられる⁵⁾。ブドウ中ではこれらの香り成分の大部分は、糖が結合した配糖体として存在している。これらの前駆体の網羅的な解析方法として、ブドウ果実より分画した結合型香り成分画分を β -グリコシダーゼによる酵素処理(または熱処理)後、遊離した揮発性成分をガスクロマトグラフィーで網羅的に測定する方法がある⁶⁾。ノンアロマティックなブドウ品種でも、種々

の香り成分を主に結合型としてブドウ中に含有しており、結合型および遊離型成分として約100成分の検出・定量が可能である。この解析では潜在的な香り成分ポテンシャルを測定しているが、醸造条件が同一の場合は、ワイン中の香り成分も得られたプロファイルを反映したものと考えると考えられる。

ワイン中の香り成分を測定するには、ガスクロマトグラフィーが用いられるが、ピーク強度が大きい成分(アルコール類、脂肪酸)が必ずしも官能への寄与が大きいわけではない。化合物ごとに人の官能閾値が異なり、含量が少なくとも閾値が低く、香りへの寄与が大きいものも多く存在する⁷⁾。分析機器の進歩に伴って、これら微量成分にもメスが入り、網羅的な香り成分分析では捉えられなかった種々の成分によりワインの特徴が形づくられていることがわかってきている。中でも、チオール化合物とよばれる分子内にSH基を持つ化合物はその特異的な香りの特徴もあり、閾値がきわめて低く、ワイン中に極微量含まれていてもワインの香りに影響すると考えられる⁸⁾。代表的なチオール化合物として、ソーヴィニヨンブランの品種特性香として発見された4-メルカプト-4-メチルペンタン-2-オン(4MMP)、柑橘系の香を持つ3-メルカプトヘキサノール(3MH)、コーヒー様の香りの2-フルフリルチオールなどが知られるが、さまざまな品種や産地の特性にポジティブに寄与していると考えられている⁹⁾。ソーヴィニヨンブランの果実中で4MMPはシステインやグルタチオンと結合した香りのない前駆体として存在しており、醸造中に酵母が生成する β -リアーゼなどの働きによって変換されることで、ワイン中で初めて香りとしてあらわれる。

栽培環境が品質関連成分蓄積に及ぼす影響の解析

フェノール化合物 栽培地の気温は、ブドウの生育や品質にもっとも影響が大きい要素であり、ワイン用ブドウの栽植に参照されるウインクラスケールによる気候区分では、日平均気温を基に算出した有効積算温度からブドウ産地を5つの気候区分に分けている¹⁰⁾。一般的な傾向として、温暖な地域では、成熟が促進する傾向にあり、酸度(リンゴ酸)が低く、色素含量は低い傾向がある。一方、寒冷な地域では、ブドウが熟しにくく、酸度が高まる傾向があるが、着色には好ましい傾向があると考えられている。近年、地球の温暖化現象で、温暖な地域での着色不良が問題となっており、深刻化することが懸念されている。アントシアニン蓄積に及ぼす環境要因の研究については、多くの研究が行われており、そのメカニズムについても明らかとなりつつある¹¹⁾。ブドウ

果実はベレーゾンという時期を境に成熟期に入るが、代謝の劇的な変化に伴い、アブシジン酸と呼ばれる植物ホルモンの蓄積が急速に増加することが知られている¹²⁾。成熟初期（ベレーゾン後1～3週）に高温条件下で栽培すると、果実中のアブシジン酸濃度は減少し、低温条件下では増加するが、その変動はアントシアニン濃度のそれと関連していることが報告されている¹³⁾。アブシジン酸は乾燥ストレスホルモンとしても知られ、ブドウが顕著に乾燥ストレスにさらされることによって高まり、アントシアニンなどを増加させることが知られている。地域の気象や圃場の水はけなど栽培地の栽培気象条件が重なることによりブドウ樹に適度な水分ストレスがかかるとアブシジン酸のレベルが増加し、赤ワイン用ブドウの品質を高めると考えられる¹⁴⁾。

タンニンについては、アントシアニンと比較して、その生成に影響を及ぼす環境要因に関する知見は少ない。同一圃場内のタンニン濃度の分布と植生密度の解析により、樹勢の弱い樹ほど果実のタンニン濃度が高い傾向がみられた。これには樹勢の違いに起因する微気象（果房周囲の光環境など）の変化が間接的に影響している可能性も示唆された¹⁵⁾。

品種特性香氣成分 品種特性香氣成分の蓄積には気温、日照などの気象条件の影響に加えて、栽培管理による微気象の影響も大きいといわれる¹⁶⁾。醸造用ブドウの栽培では、通気性や果実への日当たりの向上のため、果房周囲の葉を取り除く除葉作業を行うことが多い。果房周囲の光環境の異なる果実中の香氣成分ポテンシャルは顕著に異なっており、果房への日照が増加すると、果実中の品種特性香であるテルペン化合物やノルイソプレノイド類の前駆体含量が高まるなど望ましい変化がみられた⁶⁾。

ソーヴィニヨンブランのチオール化合物前駆体の蓄積に影響する栽培要因に関して、窒素施用によって、柑橘系の香りを持つ3メルカプトヘキサノール前駆体（グルタチオン結合体）の濃度がブドウ中で増加し、ワイン中の柑橘香の濃度が高まることが報告されている¹⁷⁾。赤ワイン用ブドウの栽培では、窒素過多は、過度の樹勢を伴い、アントシアニンなどの蓄積の減少にもつながることが知られているが、ソーヴィニヨンブランなどの白ワイン用ブドウの栽培においては、品種特性香の発現の点から窒素を施用する栽培法が適した側面を持つと考えられる。

テロワール研究の進展

テロワール「Terroir」という言葉は、土地を表すフランス語である「Terre」から派生した言葉である。基本的な概念としては、ブドウ、ひいてはワインがうまれてく

る環境全体をさすと考えられ、その違いのため、ある地域外で、その地域とまったく同じワインを生産するのは困難と考えられる^{18,19)}。テロワールとひとくくりにすることが適切かについては議論があるが、気象条件や土壤、ブドウ（品種や台木）、栽培技術および醸造技術がどのように相互作用し、ブドウ果実やワインの品質へ影響を及ぼしているかについて理解することは高品質な醸造用ブドウの生産にとっても重要である。Van Leeuwenらはボルドー地域のテロワールの解明に取り組み、土壤、品種、気候の3要因の影響を同時に調査し、赤ワイン用ブドウ品種の生長や成熟（品質）に対する影響について検討を行った。その結果、日照量、温度は決定的ではなく、気候や土壤のブドウ品質への影響は大部分が水分によって説明できると結論づけられた²⁰⁾。夏季の降水量、土壤の保水力、地下水位は樹体水分に影響し、水分ストレスを与えることによりブドウの品質へ影響すると考えられた。しかし、他産地においてテロワールに係る複数の要因を大規模に解析した研究例は少ない。

これまで述べてきたように、ブドウ果実とワイン中の品質関連成分、その前駆体について網羅的に解析し、さまざまな環境下における変動をとらえることが可能となってきた。また、フェノール化合物をはじめとした二次代謝成分（品質関連成分）の代謝系についても網羅的な解析により環境応答の全体像について分子レベルで把握できるようになってきている²¹⁾。テロワールと呼ばれる気象、土壤、ブドウの相互作用的な生態系を解明するために、これらの果実中の成分や遺伝子発現などを網羅的な解析技術（メタボロミクス、トランスクリプトミクスなど）を利用し、多面的に解析することは有用と考えられる²²⁾。イタリアヴェローナ地域のテロワール解析では、単一クロンのコルヴィナ種の果実中のメタボロミクス、トランスクリプトミクス解析が行われ、フェノール化合物（フラボノイド、ステルベン類）、香氣成分（セスキテルペン）の蓄積および遺伝子発現は年次よりも地域間の違いが顕著であることが明らかとなった²³⁾。テロワール特性（気象要因、標高、仕立て方法、土壤など）との関連解析では、各項目との相関はそれほど高いわけではないが、組み合わせることによる相乗効果によって顕著な違いがでていたことが示唆された。今後研究が進み、栽培地におけるブドウの環境応答機構の理解が深まるとともに、これまでベールにつつまれてきた要因間の相互作用のネットワークの解明へ至ると期待される。

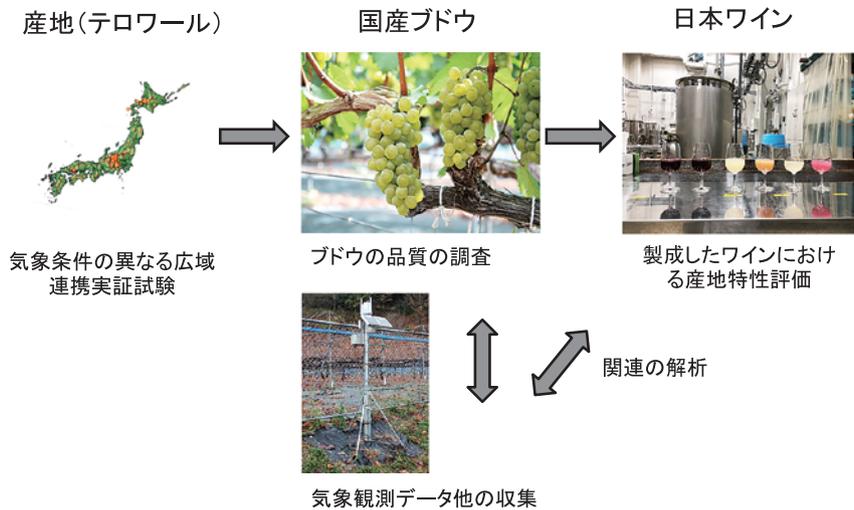


図3. 日本ワインのテロワール解明に向けた取組み

おわりにー日本ワインのテロワール

革新的技術開発緊急展開事業「日本ワインコンソーシアム」では、国内のワイン醸造やブドウ栽培に関連する11機関により、日本ワインの競争力強化のためのブドウ栽培、ワイン醸造に関わる種々の実証試験を実施した。醸造用ブドウのテロワール研究に関するテーマとして、全国30か所の実証ワイナリー圃場における気象観測、生育ステージや糖酸度などの果汁成分、果実における品質関連成分の調査を行った。10品種のブドウ果実の品質関連成分を3か年にわたって解析した結果、栽培地における栽培環境と、アントシアニンやメトキシピラジンおよびチオール、テルペン化合物などの香気成分前駆体の地域間の蓄積の違いが明らかとなり、一部の香気成分（前駆体）およびアントシアニン濃度と気温との関連が示唆された²⁴⁾。日本ワインのテロワールの解明に向けた研究については、緒に就いたばかりであり、引き続きコンソーシアムを結成し取り組んでいるところである（図3）。

日本のワイン造りについてはまだ歴史が浅く、特に、国内で栽培されたブドウから生産された日本ワインの占める割合は5%に満たない。一方で、ワイナリー数は北海道や長野といった新興のワイン産地を中心に、近年急速に増加している。今後、国内において産地が形成されていく過程において、各産地のワインの品質の特徴を明らかとすることは品質向上、また、産地の保護という面からも必要であり、関連するこれらの研究に対するニーズも高まっていると思われる。

文 献

- 1) Hashizume, K. *et al.*: *Biosci. Biotech. Biochem.*, **60**, 802 (1996).
- 2) Kobayashi, H. *et al.*: *Vitis*, **52**, 9 (2013).
- 3) Cheynier, V.: *Am. J. Clin. Nutr.*, **81**, 223S (2005).
- 4) Vidal, S. *et al.*: *J. Sci. Food Agric.*, **83**, 564 (2003).
- 5) 後藤奈美：におい・かおり環境学会誌, **44**, 390 (2013).
- 6) Bahena-Garrido, S. M. *et al.*: *J. Sci. Food Agric.*, **99**, 1926 (2019).
- 7) 後藤奈美：ワインと宝石（山梨大学「ワインと宝石」編集委員会編集），p. 128, 山梨日日新聞社（1998）。
- 8) Mateo-Vivaracho, L. *et al.*: *J. Agric. Food Chem.*, **58**, 10184 (2010).
- 9) 富永敬俊ら：醸協, **98**, 628 (2003).
- 10) Amerine, M. A. *et al.*: *Hilgardia*, **15**, 493 (1944).
- 11) 東 暁史：果樹研究のバイオインフォマティクス（藤井 浩 監修・編集），p. 171, 農研機構果樹研究所（2016）。
- 12) Koyama, K. *et al.*: *Funct. Integr. Genomics*, **10**, 367 (2010).
- 13) Yamane, T. *et al.*: *Am. J. Enol. Vitic.*, **57**, 54 (2006).
- 14) 岡本五郎：日本ブドウワイン学会誌, **16**, 80 (2005).
- 15) Koyama, K. *et al.*: *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **133**, 743 (2008).
- 16) Reynolds A. G. *et al.*: *Proceedings of the XXVes Entretiens Scientifiques Lallemand*, 14 (2014).
- 17) Helwi, P. *et al.*: *BMC Plant Biol.*, **16**, 173 (2016).
- 18) 後藤奈美：Tips for BFD第23回, きた産業
- 19) Matthews M. A.: *Terroir and other myths of winegrowing*, Univ. of California Pr. (2016).
- 20) Van Leeuwen, C. *et al.*: *Am. J. Enol. Vitic.*, **55**, 207 (2004).
- 21) Savoi, S. *et al.*: *BMC Plant Biol.*, **16**, 67 (2016).
- 22) Fabres, P. J. *et al.*: *Front. Plant Sci.*, **8**, 1065 (2017).
- 23) Anesi, A. *et al.*: *BMC Plant Biol.*, **15**, 191 (2015).
- 24) 小山和哉ら：国際競争力強化酒類4コンソーシアム合同シンポジウム (2019).