

## 特集 ■ 食と VR

## コク・キレセンサーの開発



金田弘拳

Kaneda Hirota

サッポロホールディングス

## 1. はじめに

食品、飲料の美味しさを語る上で、「コク」、「キレ」という表現がしばしば用いられる [1]。とりわけ、ビールの美味しさを語る上でコク、キレは欠くことのできない重要項目である。各種ビール、発泡酒等の市場調査において、「美味しさを評価するうえで重視する項目は？」との問いに、常に「のど越し」、「後味」に続いて「コク」、「キレ」が最上位に位置する。国内の一般消費者を対象として、各種ビールの官能評価におけるコク、キレと美味しさとの関係を検討したところ、各種ビールの美味しさはコク、キレ評価結果から重回帰式で表せることが示された (図 1) [2]。

世界にはビール学会が複数存在するが、それらが認める官能評価に関する国際標準において、コクに相当する「body」は「fullness of flavor and mouthfeel」と定義されている [3]。一方、キレに相当する表現として海外の雑誌等には「smooth」、「crisp」などが用いられることがあるが、

国際的に認められた用語、定義は存在しない。

ビールの美味しさは、五感すべてを統合して判断されるものである。基本味である甘味、塩味、酸味、苦味、うま味に触覚の一部である渋味、辛味を加えた味覚、味覚と嗅覚を総合して風味、これにテクスチャー (炭酸刺激等)、温度感覚 (温冷)、視覚 (見た目)、そして、ゴクゴクと喉を鳴らして飲む音 (聴覚)、さらに、その時の外部要因 (雰囲気、温度、湿度等)、食環境 (食習慣、食文化) や生体内部環境 (食習慣、食文化) が複雑に関わり合って美味しさが評価される。この中で、コク、キレは風味とテクスチャーを合わせたところでの評価と考える。なお、コク、キレを感覚的に分解し、その受容機構を解明しようとする研究はほとんど行われておらず、ビールにとって極めて重要でありながら、コク、キレは、もっぱら官能による感覚的な評価のみしか行われていないのが現状であった。

本稿では、筆者らがビール、発泡酒をはじめとする飲料の新たな美味しさ提案、商品開発等への応用を目指してコク、キレを客観的にとらえるために開発した「コク、キレセンサー」について紹介したい。

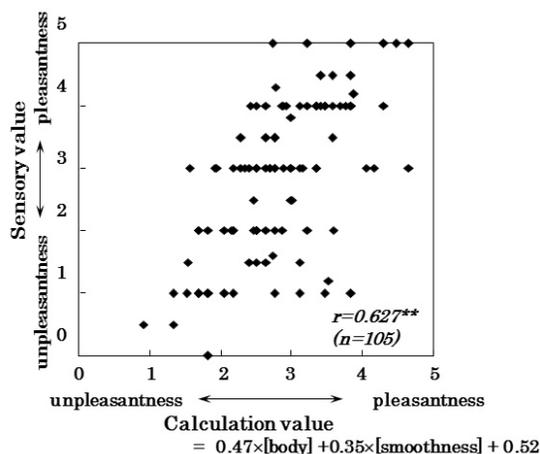


図 1 ビールの美味しさとコク、キレとの関係

## 2. コク、キレ定義とそれらの感知機構に関する仮説

まず、コク、キレ計測システムを開発するために必要な用語の定義およびコク、キレの受容機構に関する仮説を行った。コクに関しては、国際標準に従い「ビールを飲んだときの風味 (味、香り) や食感の豊かさ (body)」と定義し、キレに関しては、自社官能評価基準を尊重し、(1) ビールを飲み終わった後の風味 (味、香り) や食感等の素早い消失、(2) ビールを飲み終わった後、風味 (味、香り) や食感等が後に残らないこと (smoothness) と定義した [2]。

ヒトの味の閾値に比べて香りの閾値は極めて小さく、味と香りを同時に計測することは困難である。本稿では、まず口腔内で感知する味覚及びテクスチャーに焦点をあてて、コク、キレ計測を行うこととした。その妥当性を確認するため、ノーズクリップを用いたビールの官能評価を行った。ノーズクリップを装着することで嗅覚情報を遮断した官能評価を行うことが可能となる。官能評価において、ノーズクリップによるコクとキレ評価結果は、通常の官能評価でのコク、キレ評価結果と有意な相関を示した(コク:  $r=0.972$ ,  $p<0.01$ ,  $n=14$ ; キレ:  $r=0.921$ ,  $p<0.01$ ,  $n=14$ ) [2]。このことは、ビールのコク、キレ評価において味覚やテクスチャーが重要な役割を演ずることを示唆する。さらなる官能試験により、苦味および渋味の強さ、苦味および渋味の残存感がそれぞれコク、キレ評価において重要な要因となることも確認された[2]。なお、このことが、香りがコク、キレに影響を及ぼさないことを示唆するものではないことは確認しておきたい。

以上、味やテクスチャーがビールのコク、キレに重要な役割を持つことが確認されたので、味、テクスチャーに焦点を当てたコク、キレ評価として以下のような仮説を立てた。「ビールを飲むと、ビール成分の口腔内、咽頭等の味細胞を含む様々な細胞表面との相互作用によって味、テクスチャー等が感知される。したがって、ビールを飲んでいる最中にビール成分の口腔内細胞への相互作用(刺激)が大きいほどコクがあると認識する。ビールを飲み終えた後唾液等で洗われ直ちにビール成分と口腔内細胞との相互作用が消失されればキレが良く、いつまでも口腔内にビール香味が残り、相互作用(刺激)が継続されればキレが悪いと評価される。」(図2)。

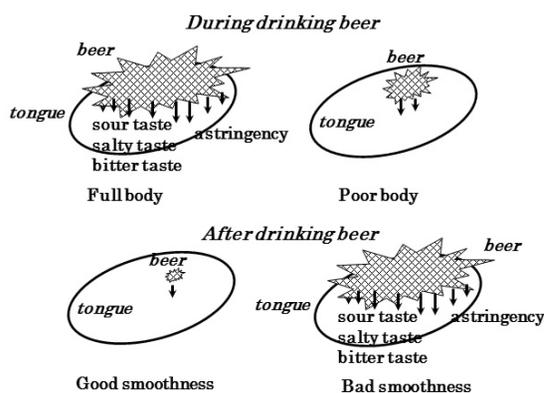


図2 ヒトのコク、キレ評価に関する仮説

### 3. コク、キレセンサー開発

上記の仮説に基づきビール類のコク、キレを計測する

システムを開発した [2][4][5]。水晶発振子型マイクロバランス (quartz-crystal microbalance, QCM) の電極面に脂質膜を付着したものをセンサーとして使用した。水晶振動子は特定の周波数を持って振動しているが、その電極表面に物質などが吸着すると質量変化が生じ周波数が減少する [6-8]。この水晶振動子表面に吸着して質量変化が生じる現象は、水晶振動子の発振周波数が下がる変化量との間で比例関係が成り立つことが分かっている。この原理を応用して、水晶発振子の電極表面に脂質膜ジオクタデシルジメチルアンモニウムポリスチレンスルホン酸あるいはジミリスチルホスファチルジエタノールアミンを生体脂質膜の代替としてコーティングして、舌や口腔内の脂質膜と食品・飲料成分の相互作用を吸着量としてナノグラム単位で計測するものである。

飲料中成分の脂質膜への吸着・脱着に関しては、飲料中の無機化合物および有機化合物と脂質膜との静電的(イオニック)および疎水的相互作用が関与しており、下記にも述べるが、本センサーは塩味、酸味、苦味、うま味等の様々な飲料成分と脂質膜との相互作用を総合的に評価する。

センサー部 (0.1ml) にポンプ (ペリスタ・バイオ・ミニポンプ, ATTO 社製) にて蒸留水、ビール希釈溶液を一定期間提供した。蒸留水とビール溶液は、コントローラ (Gradicon III AC-5900, ATTO 社製) によって切換弁 (Gradi ミキサー AC-5905, ATTO 社製) を操作し、以下のタイムスケジュールで流した: 0 - 5.0 分, 蒸留水; 5.1 - 10.0 分, ビール溶液; 10.1 - 20.0 分, 蒸留水。流量は, 3.1 - 3.4ml/分であった (図3)。

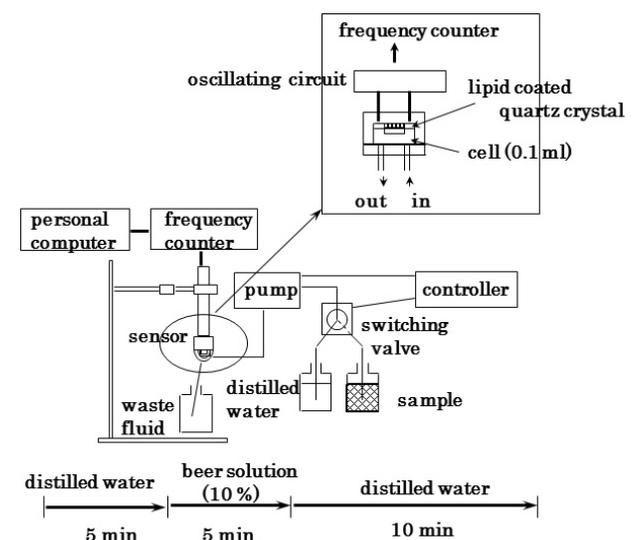


図3 コク・キレセンサーシステム

図 4 にはビール溶液を本センサーで計測した時の振動数変化の挙動を示す。蒸留水からビール溶液に切り替えた直後から水晶発振子の振動数が減少しビール成分が脂質膜へ吸着していく状況が見られる。またビール溶液から蒸留水に切り替えると振動数が上昇し、脂質膜から吸着していたビール成分が脱着していく様子が観察される。

上記のコク、キレ受容の仮説に基づけば、ビール溶液を一定期間流した時の水晶発振子の振動数の減少がビールの口腔内表面との相互作用(吸着等)を表し、コクと想定できる。一方、ビール溶液から蒸留水に切り替え一定後の振動数の減少量が、ビールを飲み終わった後唾液等で洗われた後でも口腔内に残る成分重量を表し、ビールのキレの状況(キレの悪さ)が示される。

以上、本システムはビールを飲んだ際の口腔内での感覚(味や触覚の感知発生から消長まで)を再現できると期待された。そして、本吸着・脱着パターンにおいて、蒸留水からビール溶液に切り替わった後 4 分後の振動数の変化量を「吸着性」、ビール溶液から蒸留水に切り替わった後 1 分後の振動数の変化量を「残存性」と定義して、各種ビール、飲料等の吸着性、残存性を計測した。

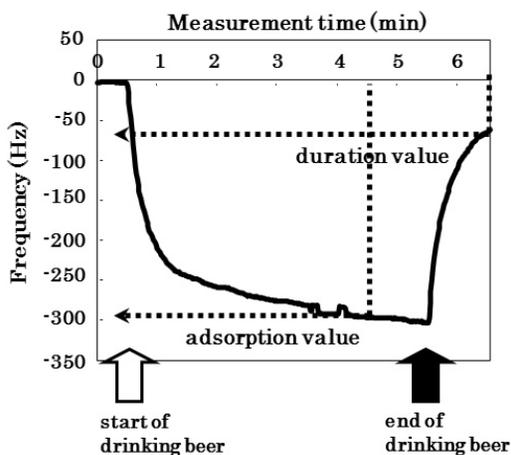


図 4 ビールの脂質膜への吸着・脱着パターン

#### 4. 各種の市販ビール、発泡酒等のコク・キレ計測

各種市販ビール、発泡酒について、本センサーを用いて脂質膜への吸着性・残存性を計測すると共に、官能評価においてコク、キレ評価を行った。脂質膜への吸着性と残存性との間には正の有意な相関が、官能評価においてコクとキレとは負の有意な相関が認められた(図 5)。ビール醸造者はビールのコクとキレとの両立を目指して

研究開発しているが、現状なかなか難しいことが推察される。なお、脂質膜への吸着性と残存性との関係(A)および官能評価のコクとキレの関係(B)において、ひとつのブランド(☆)が異常値を示した。

各種市販ビール、発泡酒等の本センサーの脂質膜への吸着性は官能評価におけるコク評価値と有意な正の相関を示した。また、各種ビール、発泡酒の脂質膜への残存性は官能評価におけるキレ評価値と有意な負の相関を示した(図 6)。また、先の官能評価におけるコクとキレとの関係における異常値となったビール(☆)は脂質膜への吸着性とコク、脂質膜への残存性とキレとの直線関係の中での直線上に乗り良い一致を示した。以上、本センサーによりコク、キレを客観的に計測できることが期待された。

本システムはビールだけでなく、ワインのボディやスープのコク、後味感の評価において良好な計測結果を示している[2]。

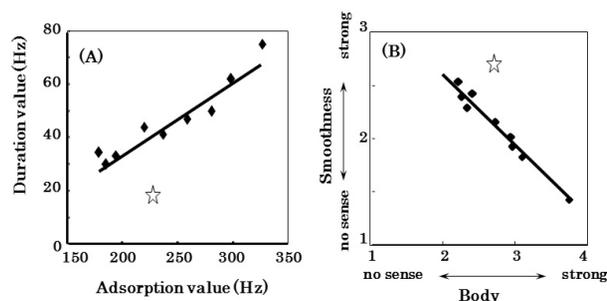


図 5 各種ビール、発泡酒等の脂質膜への吸着性と脱着性、官能評価におけるコクとキレとの関係

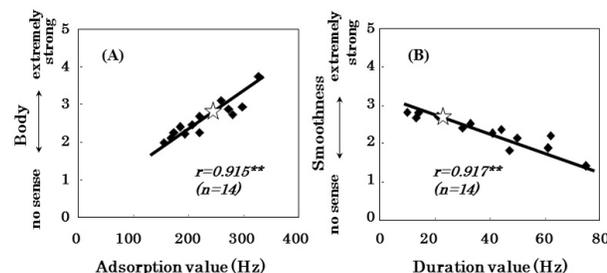


図 6 各種ビール、発泡酒の脂質膜へ吸着性、残存性と官能評価におけるコク、キレ評価値との関係

#### 5. コク・キレ構成成分

では、コク、キレにビール中のどのような成分が関与しているのか?コク、キレに関与する成分を特定し、ビール醸造中にそれら成分の挙動を明らかにすることで、ビールメーカーは商品開発の中でコク、キレを自由

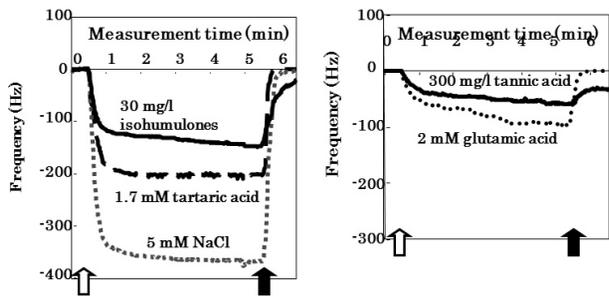


図7 味の構成成分の脂質膜への吸着・脱着パターン

に設計することが可能となる。コクがあってキレもあるビール開発を可能にすることも期待できる。

図7には、主なビールの味の構成要素である酸味（酒石酸）、塩味（食塩）、苦味（イソフムロン）、うま味（グルタミン酸）、渋み（タンニン酸）の脂質膜への挙動を示した[2]。これより、5成分全て脂質膜へ吸着し、また蒸留水で脱着されることが示唆された。なお、イソフムロン、タンニン酸は他の成分とは異なり、脱着し難いことが示唆された。酸味、塩味成分と脂質膜との主な相互作用であるイオン結合の解離に比べ、苦味や渋味の主な相互作用である疎水結合は解離しにくいことを示していると考えられる。

以上、本センサーは、塩味（無機イオン）、酸味（有機酸）、苦味（ホップ由来成分）、うま味（アミノ酸）等の様々なビール成分と脂質膜との相互作用を総合的に捉えていることが推察された。なお、筆者らは、トリヒドロキシオクタデセン酸というビール醸造工程でリノール酸の酸化分解より生成する成分がビールのコクへの寄与（脂質膜への吸着性）はそれほど大きくはないが、キレ（脂質膜への残存性）には大きな悪影響をもたらすことを発見し、ビールのコクを落とすことなくキレを良くする醸造方法（フレッシュキープ製法）を開発し、全ての工場に導入した。

### 6. コク・キレセンサーの応用

本コク・キレセンサーを応用して、苦味、渋味を特異的に計測できる。図8では、様々な味成分が本脂質膜へ吸着することを示したが、本センサーシステムにおいて流す溶液を蒸留水から緩衝液に代えることで、センサー部のビール中の塩、酸と脂質膜のイオンの相互作用を消去し、ビール成分と脂質膜との疎水的相互作用のみを抽出することが可能となる[9]。味蕾細胞中の苦味の味覚受容における化学反応については十分明らかになってはい

ないが、苦味物質が疎水性であるものが多いことから、疎水結合が重要な役割を演じていることが推察される。各種市販ビール、発泡酒の緩衝液中での脂質膜への吸着性と官能評価における苦味強度との間には有意な相関が認められ、ビールの苦味を計測できることが示唆された。そこで、本システムを用いてコーヒーと苦味の比較を行った。図8には、官能評価上ほぼ同じ苦味強度となるビールとコーヒーについて、緩衝液中での脂質膜への吸着性、残存性の挙動を示す。脂質膜への吸着性はビールとコーヒーでほぼ同じレベルの値を示したが、脂質膜への残存性はコーヒーの方がビールより大きな値を示した。本結果は、官能評価でも支持し、コーヒーはビールより苦味が残る傾向を示した。

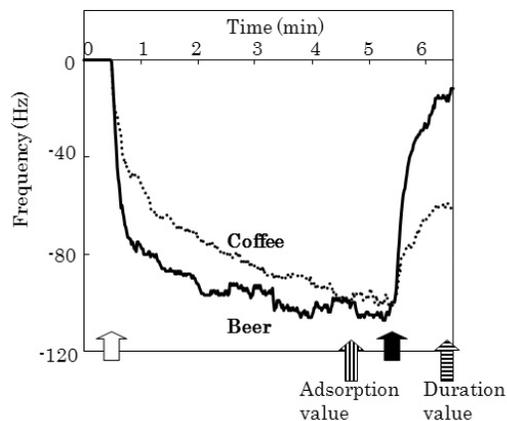


図8 ビール、コーヒーを50mM 酢酸緩衝液（pH4.3）系にて計測した際の脂質膜への吸着性・脱着パターン

渋味は他の味要素と異なり、三叉神経系に支配され触覚に分類されている。渋味を受容メカニズムは十分コンセンサスが得られたわけではないが、主な渋味成分であるポリフェノール類が口腔中で唾液中のプロリン・リッチ・タンパク質と会合し、それが舌をはじめとする口腔内の細胞表層に刺激することで渋味を感じると考えられている。筆者らは、本脂質膜センサーを用いたバッチ計測において、微量のタンパク質を含む緩衝液中に渋味ポリフェノールを添加することで、脂質膜への吸着性を大きく増大させることを発見し、渋味の感知機構を以下のように提案した[10]：渋味ポリフェノール類を摂取すると唾液中のプロリン・リッチ・タンパク質と会合し疎水度を増大させ、口腔内細胞の脂質膜への吸着性が大きく増大する。この吸着という刺激が三叉神経系を介して脳へ伝わり渋味を感知する。そして、この機構に沿った渋味挙動をモニタリングす

るシステムを開発し、緑茶、ワイン、ビールの渋み強度を計測できることが示唆された。

以上、本センサーシステムを応用することで、飲料・食品を摂取した時の口腔内での味の感知機構を模倣した系で苦味（強度と残存性）および渋味（強度）の挙動を観察することが可能となる。

## 7. おわりに

サッポロビールでは、本稿で紹介したコク、キレ計測システムに加えて、のど越し感を計測するためののど越しセンサーや脳波計測によるビールの香りに対する感性評価システムを開発し、ビール、発泡酒等の商品開発に用いてきた。とりわけ、「第3のビール」と言われるビールテイスト・アルコール飲料を業界に先駆けて商品化する上で、コク・キレセンサーが強い武器となった。

昨今、飲酒運転が大きな社会問題である中において、酒類メーカー社員の官能評価時間の勤務時間帯との関係は大きな課題となっている。また、酒類の官能評価において、感覚の数値化の問題、順応を含めた酔いと絡みの中で多数のサンプルの評価の難しさがある一方、アルコール飲料にとって嗜好性が最も重要であることを考えると、ヒトに代わる感性（嗜好性）を客観的に数値化できる計測システムの必要性はますます拡大していくと思われる。

当学会において、VR とはみかけや形は原物そのものではないが、本質的あるいは効果としては現実であり原物であることと定義されている。VR の発展による飲食すること無く効果すなわち感性（コク、キレ、美味しさ、好き／嫌い、等）の見える化の実現は、食品業界のマーケティングに大きなイノベーションを引き起こすと期待している。

以上、センサー開発を含めた食品・飲料の美味しさ研究において、単一成分、単一刺激、単一感覚が美味しさへもたらす寄与といった、細かい部品（成分）のひとつひとつを組み立てながら完成形に近づいて行こうとする研究が多く見られる中、筆者らは、複数成分、複数刺激、複数感覚が統合されて評価される感覚（コク、キレ）を総合的に捕えることから研究をスタートさせようとしている。そのため、荒っぽい仮説下での計測システム開発となり、解決すべき課題も多々存在するが、これまでなかなか進みにくかった研究領域に新たな切り口を提案し、美味しい飲料・食品研究開発に新たな価値創造のきっかけとなればと期待している。

## 参考文献

- [1] 山口静子：日本味と匂学会誌，4, 515（1997）
- [2] H. Kaneda, et al., J. Am. Soc. Brew. Chem., 60, 71（2002）
- [3] American Society of the Brewing Chemists, Sensory analysis., In Methods of Analysis of the American Society of Brewing Chemists., American Society of the Brewing Chemists., St Paul（1992）
- [4] H. Kaneda, et al., J. Biosci. Bioeng., 92, 221（2001）
- [5] H. Kaneda, et al., J. Am. Soc. Brew. Chem., 59, 169（2001）
- [6] Okahata, Y., Anal. Chem. 62, 1431,（1990）
- [7] Okahata, Y., A lipid-coated quartz crystal microbalance as an olfaction sensor. In Olfaction and Taste XI, Kurihara, K., Suzuki, N. and Ogawa, H/ (eds.) Springer-Verlag, Tokyo, 1994, pp703-707.
- [8] Okahata, Y., Anal. Chem. 62: 1431,（1990）
- [9] H. Kaneda, et al., J. Inst. Brew., 109, 27（2003）
- [10] H. Kaneda, et al., J. Food Sci., 67, 3489（2002）

## 【略歴】

金田弘拳（KANEDA Hirotaka）

サッポロホールディングス株式会社 経営戦略部 研究戦略グループ グループリーダー

1984年九州大学大学院農学研究所修士課程修了。同年サッポロビール（株）中央研究所入社，2002年同社価値創造フロンティア研究所先端技術開発グループリーダー，2006年同社経営戦略本部経営戦略部未来開拓グループリーダー，2008年サッポロホールディングス（株）経営戦略部食品開発インキュベーションセンター長，2009年より現職。途中，1994年学位取得（名古屋大学）。1996～1998年通産省工業技術院生命工学工業技術研究所（現，（独）産業技術総合研究所）留学。学会賞：1995年，2005年 Eric Kneen Memorial Award（American Society of the Brewing Chemists），2000年農芸化学技術賞（日本農芸化学会）等。著書『OFF-FLAVORS IN FOODS AND BEVERAGES』（分担執筆），『SHELF LIFE STUDIES OF FOODS AND BEVERAGES』（分担執筆），『超五感センサの最前線』（分担執筆），『抗ストレス食品の開発と展望』（分担執筆）等。