

## アプリケーション ノート

# コーヒー生豆 (グリーンコーヒー) と 水分活性

世界のコーヒー市場は、1,020億ドルほどあると言われている。この市場には、フリーズドライのインスタントコーヒーから、特定の栽培地域で徹底した品質管理のもと作られたスペシャルティブレンドまで、あらゆるものが含まれている。当然のことながら、最上級クラスのコーヒーには、最高品質への期待とともに最高価格が付けられる。

コーヒー豆は、コーヒーノキの実として収穫された後、中の種子（生豆）のみ取り出され、洗浄・乾燥・脱穀・選別などの工程を経た後にコーヒー生豆（グリーンコーヒー）として流通されていく。その後、コーヒーショップに入荷された生豆は、焙煎され、挽かれ、おなじみの1杯のコーヒーとして淹れられることで、私たちがその香りや味を楽しむことが出来るようになる。ただしこれらの製造ステップには独自の課題があり、それらはコーヒーの品質そのものに影響を与える可能性がある。

## INTRODUCTION はじめに

1杯のコーヒーが出来上がるまで、その品質は、収穫された時から経る様々な加工工程すべてにおいて管理評価が行われている。生豆や焙煎豆の品質は、まず大きさや外観に基づいて視覚的に評価された後、コーヒーの香りや味を評価する上で重要な技法とされるカップpingが行われる。このカップpingでは、風味、後味、酸味、ボ

ディ、均一性などを総合的に評価し、1から100までのスコアが付けられる。スペシャルティコーヒーとされるものは、通常80以上のスコアが求められている<sup>(1)</sup>。場合によっては、残念ながら折角仕入れたコーヒー豆がカップpingで良い評価を得られず、手遅れとなってしまうケースもある。そのため、出来れば収穫時に生豆（グリーンコ

ーヒー）自体でカップping品質を予測できる評価方法がある方が望ましい。

このアプリケーションノートでは、水分活性が、仕入れたコーヒー豆のカップping品質を予測するための潜在的な指標となり得るかについて調査をしている。

## THEORY OF WATER ACTIVITY 水分活性とは

水分活性は、システム内の水のエネルギー状態を表す尺度として定義されるもので、熱力学の基本法則のひとつであるギブスの自由エネルギー方程式を適用することで、ある温度におけるシステム内の水の活性を算出することが出来る。その値は、マトリクス内での表面、凝集、毛細管相互作用によって決定される水の相対的な化学ポテンシャルエネルギーを表している。

実際には、サンプルと平衡状態にあるヘッドスペース内の水の部分蒸気圧を、同じ温度での飽和蒸気圧で割ることによって求められる。その値は、完全に乾燥した状態を示す'0'から、部分蒸気圧と飽和蒸気圧が等しい場合の純水を示す'100'までの範囲をカバーしている。

水分活性は、「自由水」と呼ばれているケースがあるが、この言葉は高エネルギー状態の水を指す場合にはよいが、「自由」という単語自体が科学的に定義されていないため、文脈により異なる解釈がなされる場合があり、時として誤解を招く可能性がある。自由水という言葉が、定量的な測定で求められる物理的な結合をしていない水の量を指しているのか、定性的な測定で求められる水が高エネルギーから低エネルギー状態へ移行する際に必要なエネルギーのどちらを指しているのか混乱を生じさせる恐れがある。水分活性が0.50である状態とは、50%が自由水であることを示しているのではなく、サンプル内の水が同じ環境状況で純水が持つエネルギーの50%を持っていることを示している。水分活性が低ければ低いほど、システム内の水は純水のような動きをしないということになる。

水分活性は、システム内の水のエネルギーを表す示強性質であり、一方で水分含量は、製品内の水分量を決定する示量性質である。通常水分含量は、乾燥重量法で測定される。水分活性と水分含有量には相関関係があり、その関係性は水分吸着等温線で示されるが、コーヒー生豆の場合、水分含有量が販売時点の識別基準になってはいるが、微生物的リスクの有無についてを水分含量からだけでは判断をすることが出来ない。

水分活性測定装置を用いてコーヒー生豆内の水分活性を測定する場合、サンプル内の液相水と密閉チャンバー内ヘッドスペースの気相水が平衡化した時の平衡相対湿度ERHとして温度センサーを介して算出される。測定に使用されるセンサーには、電気抵抗式センサー、冷却ミラーセンサーまたは静電容量センサーなどがある。LabMaster-aw neoなどのNovasina社装置は、サンプルを含む密閉チャンバー内のERHの変化を電解質を塗布したセンサーで電気抵抗値の変化として捉え、測定をしている。この方法は、非常に安定しており、冷却ミラーセンサーでは弱点となりうるサンプルによる汚染に伴う不正確な読み取りが起こりにくい。また電気抵抗式センサーは、メンテナンスや頻繁な校正なしで最高レベルの精度と精確性を実現することができる。コーヒー生豆の場合は丸ごと、もしくは粉碎して測定に供することが出来るので、測定時間や再現性にも利点があると言える。



Novasina社 水分活性測定装置  
LabMaster aw-neo

## WATER ACTIVITY AND CUPPING QUALITY 水分活性とカップング評価

コーヒー生豆の水分活性を測定する意義は、カップングスコアと直接の関係性がある訳ではない。2種類のコーヒー生豆において、同じ水分活性値だったとしても必ずしも同じカップングスコアになるわけではなく、また水分活性に増減の変化があったとしても、それに応じてカップングスコアが変動するわけでもない。そのためコーヒー生豆において、水分含有量の把握することは重要であるが、水分活性については有効な

パラメーターにはなり得ないと結論づけている報告例もある<sup>(2)</sup>。ただしこの結論にはいくつか問題点がある。ひとつは、水分含有量の把握はほとんどの場合、水分活性測定よりも複雑な分析測定が必要で、またその信頼性は水分活性と比較して低いという点である。また水分活性の値は、カップングスコアではなく、微生物汚染や劣化反応との間に相関関係を持ち、製品の最適な保管範囲を示すものであるという点である。

コーヒー生豆の推奨される最適な保管時の水分活性範囲は0.45-0.55  $a_w$  である<sup>(3)</sup>。この範囲においてコーヒー生豆を保管した場合、それに伴うカップングの評価向上は見込めないが、6-8ヶ月その品質を保つことは出来るといえる。

## WHY LESS THAN 0.55 $a_w$ – MICROBIAL GROWTH 水分活性を0.55 $a_w$ 未満とする理由 – 微生物の増殖との関連性

コーヒー生豆の保存において、水分活性の上限を0.55  $a_w$  とする主な理由は、微生物の増殖を防ぐためである。

それぞれの微生物には、理想的な膜内の水分活性があり、正常な代謝活動を行うためには、それを維持することが重要である。体内の水分活性より低い環境に遭遇した場合、微生物は浸透圧ストレスを受け、水が細胞外へ流出してしまう。（これは水が水分活性（エネルギー）が高い方から低い方へ移動するため）これにより膨圧（細胞内へ水が進入することによって細胞内に生じる圧力）が低下し、代謝活動は停止してしまう。ある程度までの環境変化

については、体内の水分活性を制御し対応を行うが、微生物ごとに異なる増殖に必要な最低限の水分活性値を持っている。<sup>(4,5)</sup>微生物が増殖できるかどうかを決定するのは、生育環境内の水の量ではなく、細胞内外の水分活性（エネルギー）であり、十分なエネルギーを持つ水にアクセス出来るかどうかを鍵握っている。

表1に一般的な腐敗微生物の増殖に必要な水分活性の下限値を示す。水分活性が0.87  $a_w$  未満になると、病原性細菌においては増殖が停止することがわかる。一方で、腐敗酵母やカビの増殖は、実質限界として知られる0.70  $a_w$  で停止する。0.70  $a_w$  未満では、好乾性や耐塩

性菌のみが生存可能で、0.60  $a_w$  未満ですべての微生物の増殖が停止する。

コーヒー生豆において最も問題となるケースは、カビ毒（マイコトキシン）である。カビの混入は、味わいの低下や異臭発生のみならず、カビが産生する毒素による健康被害につながる。そのため、微生物の増殖を防ぐために、水分活性を0.55  $a_w$  未満にコントロールすることが重要となってくる。

| 微生物                                 | $a_w$ 下限値 | 微生物                                     | $a_w$ 下限値 |
|-------------------------------------|-----------|---|-----------|
| ボツリヌス菌 E型 Clostridium botulinum E   | 0.97      | ペニシリウム属菌（リング青かび病菌） Penicillium expansum | 0.83      |
| 土壌細菌 Pseudomonas fluorescens        | 0.97      | ペニシリウム属菌（黄変米） Penicillium islandicum    | 0.83      |
| 大腸菌 Escherichia coli                | 0.95      | 耐塩性酵母 Debaryomyces hansenii             | 0.83      |
| ウェルシュ菌 Clostridium perfringens      | 0.95      | アスペルギルス属菌 Aspergillus fumigatus         | 0.82      |
| サルモネラ属菌 Salmonella spp.             | 0.95      | ペニシリウム属菌 Penicillium cyclopium          | 0.81      |
| ボツリヌス菌 A型, B型 Clostridium botulinum | 0.94      | 酵母 Saccharomyces baillii                | 0.80      |
| 腸炎ビブリオ Vibrio parahaemolyticus      | 0.94      | ペニシリウム属菌 Penicillium martensii          | 0.79      |
| セレウス菌 Bacillus cereus               | 0.93      | アスペルギルス属菌 Aspergillus niger             | 0.77      |
| リゾプス菌（クモノカビ） Rhizopus nigricans     | 0.93      | アスペルギルス属菌 Aspergillus ochraceus         | 0.77      |
| リステリア菌 Listeria monocytogenes       | 0.92      | アスペルギルス属菌 Aspergillus restrictus        | 0.75      |
| 枯草菌 Bacillus subtilis               | 0.91      | アスペルギルス属菌 Aspergillus candidus          | 0.75      |
| 嫌気性 黄色ブドウ球菌 Staphylococcus aureus   | 0.90      | 好乾性菌類 Eurotium chevalieri               | 0.71      |
| 出芽酵母 Saccharomyces cerevisiae       | 0.90      | 好乾性菌類 Eurotium amstelodami              | 0.70      |
| カンジダ属真菌 Candida                     | 0.88      | 耐塩性酵母 Zygosaccharomyces rouxii          | 0.62      |
| 好気性 黄色ブドウ球菌 Staphylococcus aureus   | 0.86      | 好乾性菌類 Monascus bisporus                 | 0.61      |

表1. 一般的な腐敗菌の増殖における水分活性 $a_w$ の下限値

## WHY LESS THAN 0.55 a<sub>w</sub> - CHEMICAL STABILITY 水分活性を0.55 a<sub>w</sub>未満とする理由 - 化学的安定性との関連性

コーヒー生豆の水分活性を0.55a<sub>w</sub>未満に保つもう1つの理由は、潜在的な有害化学反応の速度をコントロールするためである。コーヒー生豆に起こり得る化学反応の例としては、褐変反応（色や風味の変化）、脂質酸化（酸敗）、劣化などがあげられる。（図1）

水分活性を0.55a<sub>w</sub>未満に保つと、これらの反応速度は遅くなるが、反応が起こらなくなるわけではない。特定の水分活性と保管温度で、その反応が許容できないレベルまで進行するのに必要な時間が賞味期限として設定される。

いくつかの異なる保管条件でのこれらの反応の速度定数が判明すれば、予測モデルを使用することで、製品が許容できないレベルに到達するのに必要な時間を推定することが出来る。一般的な反応の定量的評価には次の例がある。:

### 脂質酸化/酸敗

- 過酸化価値
- TBARS値
- 酸素消費量
- 官能評価

### 褐変反応

- 色調変化
- 官能評価
- 反応生成物の形成

効果的に保存期間モデルを使用して反応速度を予測するためには、水分活性と温度の両方の影響を考慮に入れる必要があるが、それら両方を含むのは湿熱時間モデル (Hygrothermal time) のみである。<sup>(6)</sup>

このモデルは、温度による化学反応の速度変動を求める際に用いられるアイリングの式<sup>(7)</sup>と自由エネルギーに関するギブス方程式を組み合わせて、温度と水分活性に基づく反応速度を算出する:

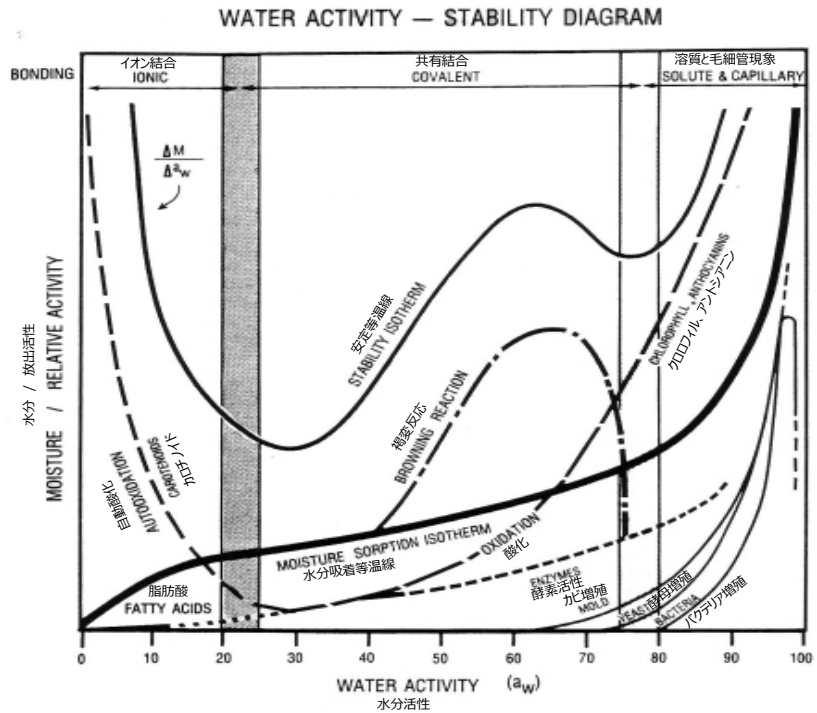


図1. 水分活性の安定性図  
食品において水分活性が様々な劣化反応と相関関係を持つことを示す

$$r = r_0 \exp\left(Ba_w - \frac{E_a}{RT}\right) \quad (3)$$

ここで、Tは温度 (K)、Rは気体定数 (J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)、E<sub>a</sub>は活性化エネルギー (J mol<sup>-1</sup>)、Bは分子体積比、a<sub>w</sub>は水分活性、そしてr<sub>0</sub>は標準状態での速度となっている。実際には、B、E<sub>a</sub>/Rおよびr<sub>0</sub>の値は、それぞれの状況に固有であり、最小二乗法による反復で経験的に導出される。

この定数がわかれば、この予測モデルを使用して、任意の温度と水分活性における反応速度を求め、その条件下での製品の保存期間を決定することが出来る。



## WHY GREATER THAN 0.45 $a_w$ - METABOLIC STABILITY 水分活性を0.45 $a_w$ 以上とする理由 - コーヒー生豆の細胞との関連性

コーヒー生豆の水分活性を0.45 $a_w$ 以上に保つ主な理由は、生豆を焙煎した時に生じる風味や香りなどのフレーバープロファイルを作りだすために重要な酵素や前駆物

質を含む生豆の細胞自体の生存を維持するためである。水分活性が0.45 $a_w$ 未満のコーヒー生豆では、細胞の生存率が低下し、焙煎をしても風味劣化が認められて

しまう。また、そのような生豆は表面が硬く脆くなっており、焙煎前に行う研磨作業で問題となる可能性もある。



## IDEAL WATER ACTIVITY FOR GREEN COFFEE 生豆に最適な水分活性

ほとんどの製品と同様、コーヒー生豆も重量ベースで販売をされるため、安全で安定した状態を保てる最大限の水を製品に含んでいる状態が最も収益を最大化させることが出来る。ただし理想的なコーヒー生豆の水分活性を下回ったり上回ったりしてしまうと、製品品質の劣化につながってしまう。

カップングスコアが88のコーヒー生豆を理想的な水分活性範囲外で保管した場合、わずか1-2ヶ月でカップングスコアが数ポイント低下したという報告例もある。

コーヒー生豆の品質を確保しながら収益性を最大化するための鍵は、水分活性を0.45-0.55 $a_w$ に保つことにある。

以上のことから、製品管理のパラメーターのひとつに、水分活性測定を導入することを推奨する。



## 【著者紹介】

Brady Carter博士

カーターサイエンティフィックソリューション社 シニアリサーチサイエンティスト

専門分野：水分活性および水分吸着

ウェバー州立大学で植物学の学士号を取得後、ワシントン州立大学で食品工学と作物化学の修士および博士号取得

自身会社設立前、デカゴンデバイス社ならびにワシントン州立大学に勤務し、20年にわたる研究開発に従事

数多くの水分活性に関するセミナー講師を務め、世界中の企業にオンサイトで水分活性測定をトレーニングした経験を持つ

論文執筆多数、保存期間の簡略化パラダイムと湿度温度保存期間モデルを開発



## REFERENCES

- Galova, V. 2020. <https://www.roestcoffee.com/roestblog/how-to-evaluate-the-quality-of-your-coffee-part-3-cupping>
- Fretheim, I. 2019. [https://cdn.cafeimports.com/images/Cafe\\_Imports\\_Water\\_Activity\\_In\\_Specialty\\_Green\\_Coffee\\_A\\_Long\\_Term\\_Observational\\_Study\\_Ian\\_Fretheim.pdf?\\_gl=1\\*fhyaj5\\*\\_ga\\*NTk5MDE4MTM5LjE2Mzg-zMDMyMjY.\\*\\_ga\\_DJK00BN6H3\\*MTY0MDgxMDc0My41LjAuMTY0MDgxMDc0My4w](https://cdn.cafeimports.com/images/Cafe_Imports_Water_Activity_In_Specialty_Green_Coffee_A_Long_Term_Observational_Study_Ian_Fretheim.pdf?_gl=1*fhyaj5*_ga*NTk5MDE4MTM5LjE2Mzg-zMDMyMjY.*_ga_DJK00BN6H3*MTY0MDgxMDc0My41LjAuMTY0MDgxMDc0My4w)
- Agudelo, Y.M. 2021. <https://dailycoffeenews.com/2021/06/23/an-introduction-to-water-activity-in-green-coffee/>
- Beuchat, L. 1983. Influence of water activity on growth, metabolic activities and survival of yeasts and molds. *Journal of Food Protection* 46(2):135-141.
- Scott, W. 1957. Water relations of food spoilage microorganisms. *Advances in Food Research* 7:83-127
- Carter, B. P., Syamaladevi, R. M., Galloway, M. T., Campbell, G. S., & Sablani, S. S. 2017. A Hygrothermal Time Model to Predict Shelf Life of Infant Formula. In U. Klinkesorn (Ed.), *Proceedings for the 8th Shelf Life International Meeting* (pp. 40–45). Bangkok, Thailand: Kasetsart University.
- Eyring, H. 1936. Viscosity, plasticity, and diffusion as examples of absolute reaction rates. *J. Chem. Phys.* 4:283.

 DKSHマーケットエクспанションサービスジャパン株式会社  
 テクノロジー事業部門 科学機器部

 本社  
 〒108-8360 東京都港区三田3-4-19  
 Phone 03-5730-7610 FAX 03-5730-7605

 大阪サービスセンター  
 〒564-0052 大阪府吹田市広芝町2-3  
 Phone 06-6170-3607 FAX 06-6170-3608

 e-mail [tp.labtyo@dksh.com](mailto:tp.labtyo@dksh.com)  
 URL [www.dksh.jp](http://www.dksh.jp)
