

研究論文

コーヒー生豆を保存中の環境湿度が焙煎に及ぼす影響

近藤徹弥*1、木野照代*2

Effect of Humidity during Storage of Green Coffee Beans on the Quality of Roasted Coffee

Tetsuya KONDO*1 and Teruyo KINO*2

Food Research Center*1 Shubun University Junior College*2

保存湿度が高い程、生豆は吸湿し、体積が増加した。一方、生豆の保存湿度が低い程、焙煎後の豆の比容積や体積は増加し、深煎りの様相を呈した。X線CTによる内部構造観察の結果から、焙煎に伴う内部組織の多孔質化と焙煎初期から生じた巨視的な空隙が焙煎による豆の膨化の原因であることが確かめられた。また、保存湿度が低くなる程、焙煎による水分減少量は少なく、焙煎豆抽出液中のクエン酸、リンゴ酸、ギ酸、トリゴネリンやクロロゲン酸が減少し、キナ酸や乳酸は増加した。

1. はじめに

コーヒーは茶類とともに世界中で親しまれている嗜好飲料である。我が国においても愛好者は多く、2018年の一人当たりの消費量は3.7kg(生豆換算)に上る¹⁾。生産国から日本へ輸出された生豆は、焙煎して飲用に供されるまで生豆の状態で開催される。その保存期間は焙煎豆に比べて長い。保存条件にもよるが数年は保存できるといわれている。しかしながら、高温や多湿の環境下での保存は、生豆の成分変化やカビ等の微生物の発育をもたらす²⁾³⁾。コーヒーの複雑な香りや酸味、コク等は、焙煎時の熱により生豆中の成分が変化して生じるため、保存中の生豆の変化はコーヒーの品質に大きく影響を及ぼす。極端な環境下でなくても、天候等による短期的な温湿度の変動が生豆の状態を変え、焙煎に影響を及ぼすことも十分に考えられる。そこで本研究では、生豆保存中の湿度が焙煎に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

2.1 試料

生豆の保存試験及び焙煎後の成分分析用には、コロンビア産を用いた。保存試験前の生豆は、温度や湿度を制御していない室内でポリエチレン袋に入れて保管した。生豆及び焙煎豆のX線CTによる内部構造観察にはペルー産を用いた。

2.2 生豆の保存試験

シリカゲル又は飽和塩溶液を入れて内部を調湿した密閉容器に生豆520gを入れ、30℃で2週間保存した。調湿用の塩として、炭酸カリウム、塩化ナトリウム、硝酸

カリウムを用いた。各飽和塩溶液の30℃における相対湿度(以後、単に湿度)は、それぞれ43%、75%、92%である⁴⁾。シリカゲルを入れた容器内の湿度は25%であった。保存湿度に対応して低い方から、各試験区をRH25、RH43、RH75、RH92と表記した。なお、保存試験は3回行った。この内、2、3回目の保存試験は、1回目(5月)の9か月後に同時に行った。

対照として保存試験をしていない試験区を未処理と表記した。

2.3 焙煎

水平回転式の煎豆電熱機(CP-400、中京電熱器製作所)を用い、保存試験後の生豆(保存前の生豆として500g相当量)を240℃の設定で15分間焙煎した。焙煎中の庫内温度は経時的に測定した。焙煎後、素早く豆を取出し、サーキュレータを使い室温まで速やかに冷却した。これを分析時までフリーザーバックに入れて-30℃で保存した。X線CT観察用の豆は、通風オーブン(SCOS-5230RS、ニチワ電機)を用い、220℃で4~40分間焙煎した。

2.4 抽出液の調製

電動ミルを用い焙煎豆10gを微粉砕した。粉砕は摩擦熱の発生を抑えるため、5秒間粉砕、10秒間停止を3回繰り返した。粉砕後、直ちに5.0gを90℃の熱水100mLに懸濁し、90℃の湯浴下、時々攪拌しながら焙煎豆の成分を抽出した。5分後に、ろ紙(No.2、アドバンテック)にて素早くろ過後、氷水で冷却し抽出液とした。

2.5 豆の分析

保存試験前後と焙煎直後に、豆をメスシリンダーに入

*1 食品工業技術センター 発酵バイオ技術室 *2 修文大学短期大学部

れ、体積を近似的に求めた。豆の体積と重量から、比容積や保存前後・焙煎前後の重量減少量を求めた。水分は、粉碎した豆を用い、105℃での常圧乾燥法にて測定した。焙煎豆の色度は、分光色差計(SE6000、日本電色工業)を用い、640nmにおける分光反射率(R)を $HCCI = (1.958 * R) - 3.32$ に当てはめて、Hunter Coffee Color Index (HCCD)⁵⁾として示した。また、マイクロフォーカス X線 CT(SMX-160LT、島津製作所)により得られた豆の断層画像を 3D 画像視覚化ソフト(Drishti)⁶⁾により 3次元構成し、豆の内部構造を観察した。

2.6 抽出液の分析

コーヒー抽出液の pH 測定には、LAQUA F-70(堀場製作所)を用いた。ポリフェノールは、フォーリン・チオカルト法を用い、クロロゲン酸(5-caffeoyl quinic acid)相当量として定量した。クエン酸、リンゴ酸、キナ酸、乳酸、ギ酸、及び酢酸は、ポストカラム電気伝導度検出法を用いた有機酸分析システム(島津製作所)を用いて定量した。トリゴネリン、ニコチン酸、クロロゲン酸、及びカフェインは、HPLCにより以下の条件で、**図 1**のグラディエントプログラムに従い測定した。

カラム:Develosil C30UG3(100mm×4mm)

移動相 A:0.1% リン酸、移動相 B:メタノール

検出器:PDA(265nm、325nm)

流速:0.4mL/min

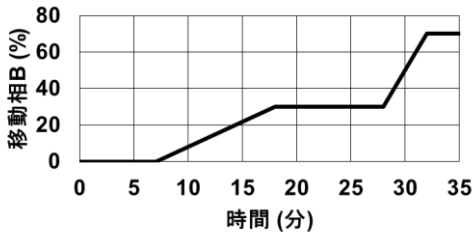


図 1 グラディエントプログラム

2.7 分析値の主成分分析解析

抽出液の成分値の主成分分析には、統計解析用言語 R(Ver. 3.6.2)⁷⁾の prcomp パッケージを用いた。

3. 実験結果及び考察

3.1 保存による生豆の変化

生豆を 30℃で 2 週間保存したところ、保存湿度が高い程、水分が増大した。保存前(未処理試験区の生豆)と比較して湿度 43%以下では放湿し、それより高湿度では吸湿した。体積も水分の増加に伴い増大した(**図 2**)。

3.2 焙煎豆の構造に対する保存湿度の影響

生豆を高温で加熱すると、豆内部の水分が蒸発すると同時に、生豆中の成分の熱分解によって炭酸ガスや様々な揮発性成分が生成する。やがて、水蒸気やこれらのガスの圧力に内部構造が耐えきれなくなり、豆の組織が破

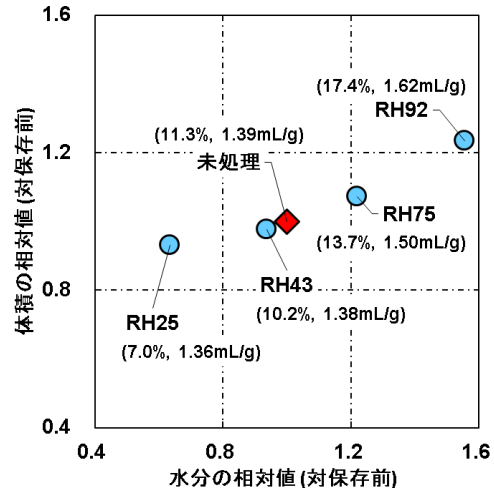


図 2 生豆の水分と体積の保存前に対する相対値 ()内は水分と体積。(全て 2 連の平均値)

壊される。この時に散発的に発生する”パチ、パチ”と爆ぜる音が”1 ハゼ(first crack)”と呼ばれている。この段階が浅煎りの目安とされる。焙煎を続けると音は一旦収まるものの、再び連続的に爆ぜ始める。この音は”2 ハゼ(second crack)”と呼ばれている。この 2 ハゼはコーヒー焙煎に特徴的であり、2 ハゼ以降、深煎りの段階に入っていく。

焙煎中の温度経過を**図 3**に示す。生豆投入により庫内温度は 100~130℃にまで低下した後、上昇に転じ、1 ハゼが聞こえる頃(矢印 a)から温度上昇は鈍化した。保存湿度が高い程、温度上昇は遅く、1 ハゼの始まる時間も遅くなった。また、RH25~75 の豆の 1 ハゼの始まる温度は約 220℃であったが、RH92 の豆では明らかに低く 210℃付近であった。RH25 と RH43 では 230℃を超えた辺りで 2 ハゼが発生したが、RH75 と RH92 の豆では 230℃に到達する前に焙煎を終了したためか、2 ハゼは認められなかった。

生豆は剛性が高く硬いが、焙煎が進むにつれて体積が膨張し、軽く脆くなる。ペルー産生豆を 220℃で焙煎し

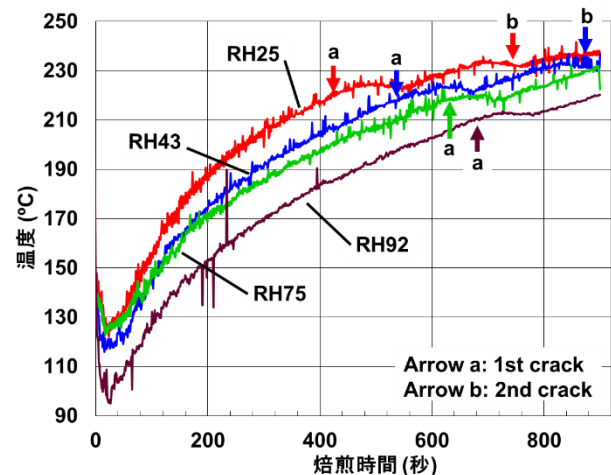


図 3 焙煎中の温度経過

たところ、生豆に対する体積比は、4分(1ハゼ始まり)、12分(1ハゼ終了)、40分(2ハゼ終了後)の焙煎でそれぞれ2.29、2.67、2.79であった。これらの豆の内部構造をX線CTにより観察した(図4)。生豆の内部は比較的均一で密な構造をとっていたが、焙煎豆では、焙煎後4分で層状の割れ目や空洞(矢印)が既に形成されていた。さらに、焙煎時間とともに内部が微細な多孔質構造に変化していくことが認められた。焙煎中に発生するハゼ音は、これらの空隙が熱により膨張する際に生じるものと考えられた。

焙煎豆の各種分析値を表1に示す。保存湿度が低い程、焙煎度合が深く(色度が低く)なった。いずれの豆も、焙煎によって体積が増大した。図4との比較から、焙煎による体積増加は、焙煎に伴う組織の多孔質化や空隙の発達によるものと判断された。焙煎前の水分が少ない(保存湿度が低い)程、焙煎前後での体積増加は大きかった。RH92では、体積は焙煎前後で約1.2倍であったのに対し、RH25では2倍になった。また、保存湿度が高い程、焙煎による豆の重量や水分の減少量は大きくなった。豆の重量減少量と水分減少量が良好な比例関係($r=0.987$)を示したことから、水分とそれ以外の揮発成分(炭酸ガス等)の揮散割合は保存湿度によらず一定であることが示唆された。一方、水分減少と体積増加との間には逆相関($r=-0.999$)の関係が得られた。焙煎中の温度経過(図3)から判断すると、この関係は、豆中の水分が多いと水分減少量は大きい、その分だけ気化熱により豆内部の温度が下がり焙煎が抑制されたため、と考えられた。また、保存前を基準とした水分減少量は保存湿度によらず10g前後/100g-生豆であった。このことは、保存中の吸放湿

表1 焙煎後の豆の物性値

	保存湿度*				
	未処理	RH25	RH43	RH75	RH92
水分 (%)	1.5	1.6 ±0.1	1.8 ±0.1	1.8 ±0.1	2.4 ±0.1
比容積 (mL/g)	2.81	2.99 ±0.07	2.84 ±0.07	2.68 ±0.06	2.55 ±0.07
体積比					
(対保存前)	1.66	1.86 ±0.07	1.72 ±0.05	1.57 ±0.04	1.46 ±0.05
(対焙煎前)		2.00 ±0.07	1.75 ±0.02	1.45 ±0.03	1.18 ±0.03
重量減少量 (g/100g-生豆)					
(対保存前)	17.8	13.7 ±1.2	16.1 ±0.1	18.5 ±0.3	20.5 ±0.8
(対焙煎前)		8.7 ±2.3	14.5 ±0.9	20.7 ±0.2	25.6 ±1.1
水分減少量 (g/100g-生豆)					
(対保存前)	10.0	10.2 ±0.8	10.0 ±0.7	10.1 ±0.7	9.6 ±0.7
(対焙煎前)		5.5 ±0.6	8.5 ±0.7	12.1 ±0.4	15.2 ±0.3
色度 (HCCI)	7.3	5.2 ±0.5	7.6 ±0.7	10.9 ±0.3	14.0 ±0.9

*未処理は2連の平均、他は3連の平均±標準偏差

量に関わらず、保存前の生豆が持っていた水分からの蒸散量は一定であり、これに加えて保存中に吸湿した水分の一部が蒸発することを示唆している。

3.3 コーヒー抽出液成分への保存湿度の影響

コーヒーの生豆には、カフェイン、クロロゲン酸、トリゴネリン等の様々な成分が含まれている。これらの中には、焙煎中にメイラード反応、カラメル反応、熱分解によって変化したり、揮散する成分がある。クロロゲン酸は焙煎が進むにつれて減少し、クロロゲン酸ラクトン、ビニルカテコールオリゴマーや褐色物質であるメラノイジン等に変化し、一部はカフェ酸とキナ酸に分解される。一方、カフェインは比較的熱に安定であるため、焙煎度合によらず量は一定である。

コーヒー抽出液の成分値を表2に示す。カフェイン含量は保存湿度によらずほぼ一定であったが、クロロゲン酸やトリゴネリンは、保存湿度が低くなる程、大きく減少し、キナ酸やニコチン酸が微増した。中林らは、焙煎

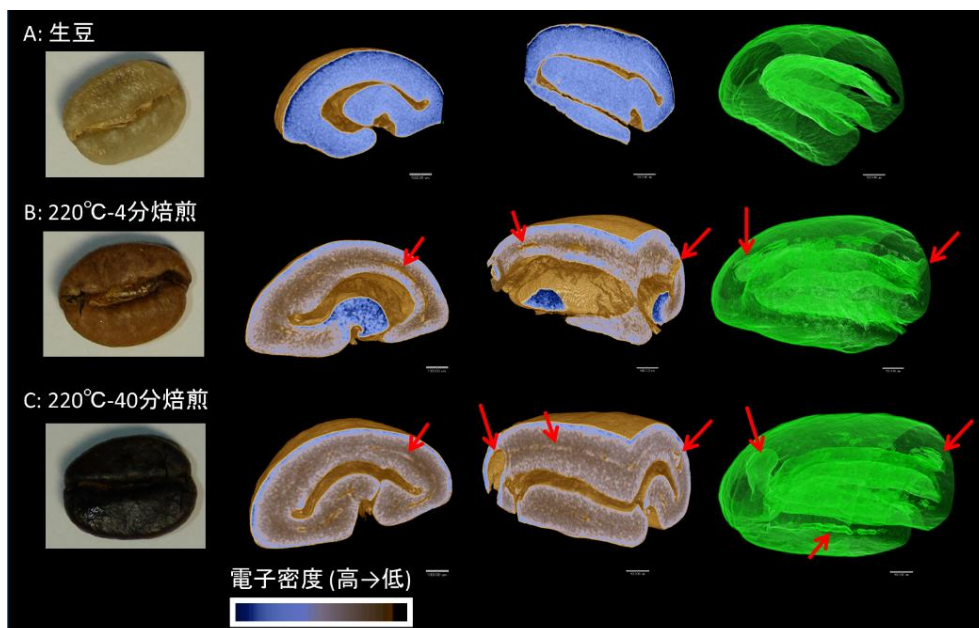


図4 コーヒー豆の写真と3D-X線CT像(左、中央:断面像、右:透過像)⁸⁾(中央と右は同じ視点)。スケールは1mm。矢印は空隙を示す。

表 2 コーヒー抽出液の成分値

	保存湿度 ¹				
	未処理	RH25	RH43	RH75	RH92
pH	5.5	5.8 ±0.1	5.5 ±0.0	5.2 ±0.1	5.1 ±0.1
ポリフェノール ²	293	261 ±32	282 ±51	309 ±31	323 ±29
クエン酸 ²	33.8	23.0 ±1.0	27.0 ±2.2	35.0 ±5.0	38.1 ±8.0
リンゴ酸 ²	10.9	7.7 ±0.7	9.6 ±0.8	12.9 ±0.3	14.9 ±0.4
キナ酸 ²	42.7	46.2 ±4.7	42.0 ±0.8	41.2 ±0.9	40.4 ±1.2
乳酸 ²	14.8	16.4 ±2.1	14.9 ±0.8	14.0 ±0.5	13.7 ±0.6
ギ酸 ²	8.9	7.3 ±0.1	8.6 ±0.6	10.4 ±0.1	11.5 ±0.3
酢酸 ²	25.4	23.7 ±0.6	24.5 ±1.1	24.9 ±0.4	24.3 ±0.2
トリゴネリン ²	21.9	16.2 ±1.3	20.2 ±1.2	27.4 ±0.6	29.8 ±2.2
ニコチン酸 ²	0.8	1.1 ±0.3	0.7 ±0.4	0.5 ±0.2	0.3 ±0.3
クロロゲン酸 ²	21.1	9.9 ±1.1	18.2 ±0.6	36.8 ±3.9	50.1 ±6.2
カフェイン ²	54.7	54.6 ±2.5	52.6 ±3.5	54.2 ±0.8	51.9 ±3.6

¹ 未処理は2連の平均、他は3連の平均±標準偏差

² mg/100mL

度合が深くなるにつれてトリゴネリン/カフェイン含量比(T/C 比)が低くなることを示した⁹⁾。本研究では保存湿度の低下と共に T/C 比が 0.57 から 0.30 へ低下した。この傾向は、色度の低下(表 1)とも対応したことから、同じ焙煎条件でも保存湿度が低くなると焙煎度合が深くなると考えられた。非フェノール性有機酸も保存湿度により変動した。保存湿度が低くなる程、リンゴ酸、クエン酸やギ酸は単調減少したが、乳酸は微増し、酢酸は一定であった。

コーヒー抽出液の成分値の主成分分析結果を図 5 に示す。保存湿度が高い程、スコアプロットの第 1 主成分得点が大きくなり、保存湿度ごとにまとめることができた。また、ローディングプロットの第 1 主成分において、易

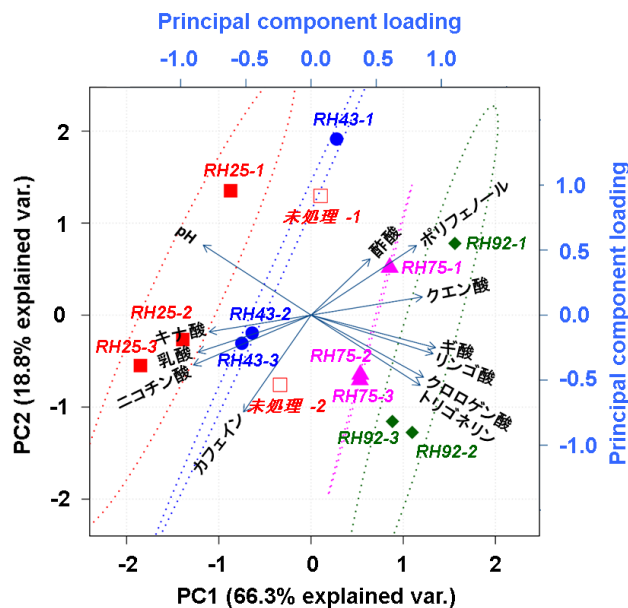


図 5 コーヒー抽出液の成分値を用いた主成分分析スコアプロット(左—下軸): 各試験区に続く数字は、保存試験の回を表している。ローディングプロット(右—上軸): 各成分の寄与率は矢印で表している。

熱性のクロロゲン酸、トリゴネリン、揮発性の酢酸、ギ酸の寄与率は正、加熱により生成するキナ酸、乳酸、ニコチン酸の寄与率は負であった。したがって第 1 主成分は焙煎度を反映しており、得点が高い程、焙煎度合が深いことを示していると考えられた。一方、スコアプロットの第 2 主成分では、試験開始日が遅い(保存前の生豆が古い)程、得点が低くなった。ローディングプロットでは酢酸や pH が正、カフェインが負であった。これらのことから、第 2 主成分は酢酸の酸味(酸臭)とカフェインの苦みを反映し、長期保存による成分変化を示していると考えられた。

4. 結び

本研究の結果は、以下のとおりである。

- (1) 保存湿度が高い程、生豆の水分や体積は増加した。
- (2) 焙煎による体積増加は内部の空隙の熱膨張であるが、水分が多いと体積増加が少ないことが分かった。
- (3) 生豆の保存湿度は焙煎に影響を及ぼし、湿度が低い程、成分や色度は深煎りの傾向を示した。

謝辞

本研究の実施に当たって、マイクロフォーカス X 線 CT を用いたコーヒー豆内部の構造観察にご協力頂いた共同研究支援部の中西裕紀氏にお礼申し上げます。

文献

- 1) 全日本コーヒー協会:世界の一人当たりコーヒー消費量, http://coffee.ajca.or.jp/wp-content/uploads/2019/11/data09_20191114.pdf, (2020/07/31)
- 2) I. Ismail, M.S. Anuar, R. Shamsudin: *Int. Food Res. J.*, **20**, 255(2013).
- 3) Palacios-Cabrera HA, Menezes HC, Iamanaka B T, et al.: *J Food Prot.*, **70**, 164(2007)
- 4) JIS A 1475:2004 建築材料の平衡含水率測定方法
- 5) CFEZ Coffee Color User's Manual Version 1.2, <https://www.hunterlab.com/media/documents/color-flex-ez-coffee-user-manual.pdf>, (2020/07/31)
- 6) Drishti, <https://github.com/nci/drishti/releases/tag/v2.6.4win>, (2020/07/31)
- 7) R Core Team: <https://www.R-project.org/>, (2020/07/31)
- 8) コーヒーの X 線 CT 動画, http://www.aichi-inst.jp/other/up_videos/Coffee-Dance.wmv, (2020/08/20)
- 9) 中林敏郎, 政野光秋:日食工誌, **33**, 725(1986)