

調理科学における重力の影響の検討 ～「宇宙調理学」の創成に向けて～

宮城大学食産業学群・教授 石川 伸一

■ 緒 言

将来、宇宙での長期滞在をするにあたり、従来の「宇宙食」では不十分であり、現地で調理することが重要になると考えられている。「月面農場ワーキング検討報告書(2019)」では、作物や穀物の生産については検討されているものの¹⁾、その後の消費にあたる「調理」に関しては課題が残されたままである²⁾。

現在の宇宙食は、フリーズドライなどの加水食品や、レトルト食品などの温度安定化食品が多い。これは、宇宙空間特有の微小重力空間や閉鎖的空間に長期滞在することを想定した厳しい基準が設けられているためである³⁾。さらに長期滞在によって、筋・骨量の減少や精神的ストレス等の医学的な課題が生じる。こうした背景から、宇宙食には栄養補給のみならず、精神的ストレスの緩和も目指した「いつも食べているおいしい食事」の提供が必要と考えられている⁴⁾。微小重力環境は、密度の違いによる対流が発生しない、静水圧の影響がないなど、地上とは異なる環境である⁵⁾。これまで調理と重力の関係については、3Gで揚げたポテトフライの熱伝導が向上すること⁶⁾や、加熱遠心機を用いた菓子生地の新たな食感の作製などの研究⁷⁾は一部で行われているものの、微小重力が調理現象に及ぼす影響などはほとんど報告されていない。

そこで本研究では、重力が基礎的な調理操作として米への水の浸漬、パンの発酵およびヨーグルトの発酵に及ぼす影響について、微小重力環境装置のクリノスタットを用いて調べることを主たる目的とした。さらに、加熱式遠心機を用い、より過重力下での鶏卵の加熱調理に関する予備的な実験も行った。将来的に、日常の調理の場においても重力の観念を取り入れた食の多様性に貢献することを目指す。

■ 方 法

重力変化はクリノスタット(微小重力環境装置 Zeromo CL-5100、ヤマト科学株式会社)を用い、フラスコ内の重力ベクトルの方向を分散させてできた模擬的な重力環境(1/1000 G、5 G)下で実験を行った。クリノスタットはインキュベーター(ILE800、ヤマト科学株式会社)内に設置し、実験時の温度を一定に保った。1 G環境はインキュベーター内に試料を静置した。

重力変化が米の吸水率に与える影響について調べる実験では、うるち米、もち米、玄米(いずれも国産)を米試料として用いた。米20 gに対し水26.7 gを組織培養用フラスコ(型番:353107、Falcon)に空気が入らないように入れ、クリノスタットに設置した。模擬重力下、25℃、120分の条件で吸水実験を行った。浸漬後、水分を軽くふき取った米粒(15 g)をアルミ缶に入れ130℃で120分間乾燥させ、アルミ秤量法を用いて水分含量を算出した。

重力変化がパンの発酵に与える影響について調べる実験では、市販の冷凍食パン生地(敷島製パン株式会社)を25℃で150分間解凍し、丸め、再度25℃で30分間生地休めを行った。その後生地を成形し、フラスコ内に入る自作したパン型に生地を5 g入れた。フラスコをクリノスタットに設置し、模擬重力下、30℃、18時間発酵を行った。発酵後、すみやかにパン型を取り出し、200℃に予熱したオーブンで5分間焼成した。焼成したパンは、菜種置換法を用いてその密度を求めた。

重力変化がヨーグルトの発酵に及ぼす影響について調べる実験では、あらかじめ牛乳(おいしい雪印メグミルク牛乳、雪印メグミルク株式会社)を75℃で5分間煮沸殺菌を行い、35℃以下になるまで水冷した。その後、牛乳1 Lに対し、アシドフィルス菌、サーモフィルス菌などが含まれるヨーグルト種菌(ABCT種菌、タニカ電器株式会社)を2 g入れ、十分攪拌した。その後、フラスコに試料を入れ、クリノスタットに設置した。模擬重力下、40℃で一定時間発酵を行った。発酵後、内部を十分に攪拌した後、pHをpH計(PH-220Spear、サトテック)、糖度および酸度をヨーグルト用糖酸度計(PAL-BX|ACID96、株式会社アタゴ)にて測定した。

加熱式遠心機(SL-IVDH、株式会社佐久間製作所)を用いて、過重力下での加熱調理実験を行った。50 mLの遠心チューブに液卵(全卵)を20 g入れ、1,600 gおよび4,600 g、常温、80℃および100℃、10分間の条件で遠心加熱を行った。

統計解析は一元配置分散分析後、Tukey法により各群間の有意差検定を行った。

■ 結果および考察

重力を変化させた米の浸漬後の水分含量を調べた結果を表1に示す。うるち米ともち米では、重力の違いによる吸水率に有意な差は見られなかった。一方、玄米では5 G条件下と比較して1/1000 Gで有意に吸水率が低下した。これまで過重力(1,000 G ~ 4,000 G)によって米の水切り時に水分が放出され、水分含有率が低下すると報告されている⁸⁾。吸水においても過重力で促進される可能性も考えられたが、今回行った5 Gでの重力条件が先行研究よりもかなり低い重力下で行ったことや、クリノスタットの1/1000 G時のフラスコの挙動が5Gよりも様々な方向に分散することで、模擬微小重力環境の方が米の吸水を促進したのではないかと考えられた。今後は重力条件をより変化させ、浸漬時の米の吸水率の調べる必要があると考えられる。

重力を変化させた条件下で発酵を行ったパンの密度の結果を表2に示す。試料間に有意な差は認められなかった。パンの膜の張力においては、弾性率や変形速度に大きな変化がない場合は内圧が高い状態で維持されると報告されているため⁹⁾、本実験における1/1000 G ~ 5 Gの重力環境下では、弾性率の変化が少なく、パンの発酵に影響を及ぼさないことが示唆された。

重力を変化させたヨーグルトの発酵後のフラスコ内を観察したところ、5 Gでは外側になるにつれ分離が大きくなった。これは、中心からの距離が大きくなるほど強くなる遠心力の影響によって、フラスコ内の重力が異なり、発酵に影響を及ぼしたと推察された。重力を変化させた条件下でのヨーグルトのpH、糖度および酸度の経時的な結果を表3に示す。重力が大きいくほど、および時間が経過するほど、pHが低下、糖度が低下、酸度が上昇し、ヨーグルトの発酵が促進されることが明らかとなった。これまでラットの骨髄細胞を模擬微小重力環境に暴露することで細胞分化が抑制され、未分化状態が抑制されることがわかっている¹⁰⁾。また、モデル生物線虫を用いた場合においても、微小重力環境が筋形成に抑制的に働くことを示唆しており、遺伝子発現や修飾機構の制御に至っていることが報告されている。今後の課題としてヨーグルトのみならず、乳酸菌等の微生物レベルでの重力応答の影響を検討していく必要があると考えられる。微生物を過重力下で生育しても10,000 G程度の高重力までは生育に影響を及ぼさず過重力に対する耐性があると報告されているため¹¹⁾、模擬微小重力下での影響をみることでより一層ヨーグルトの発酵との関係を明らかにすることができると考えられる。さらに、微小重力環境特有の対流が発生しないことで、菌同士の共生が起きず、発酵が抑制された可能性も考えられる¹²⁾。一方で、1/1000 Gでは水の伝熱特性が低下することが明らかになっている¹³⁾ことから、1 Gや5 Gと比較して1/1000 Gでは伝熱が進まず、温度による発酵自体が抑制される可能性も考えられた。

加熱式遠心機を用いた、過重力下での鶏卵の加熱実験の結果、重力や温度を変えることで見た目が異なる状態となった(図1)。今後、さらに重力が調理に及ぼすメカニズムを調べる研究を進展させることで、「宇宙調理学」の創成に向けた貴重な知見が蓄積されると考えられる。

■ 要約

重力が基礎的な調理操作に及ぼす影響について調べるため、米(うるち米、もち米、玄米)の浸漬や、パンおよびヨーグルトの発酵について、クリノスタットを用い模擬的に重力を変化(1/1000 G、1 G、5 G)させ実験を行った。米は浸漬・乾燥前後における水分率、パンは焼成後の密度、ヨーグルトはpH、糖度および酸度をそれぞれ測定した。その結果、米についてはうるち米ともち米に関して、異なる重力間における水分率の差はみられなかった。一方で、玄米では5 G条件下で吸水率が1/1000 Gと比較して有意に高かった。パンの密度は重力間で有意な差は見られなかった。ヨーグルトは、pHや糖度は時間経過に伴い、1/1000 Gの条件下と比較し1 Gと5 Gで有意に低下した。酸度は時間経過に伴い、1/1000 Gと比較し1 Gと5 Gで有意に増加した。これらの結果から、重力変化が特に発酵食品に影響を及ぼす可能性が示唆された。

■ 文献

- 1) 遠藤良輔(2019), 月面農場実現のための物質循環システムの提案—月面ワーキンググループ検討報告書より—, The Society of Eco-Engineering, 31, 75-77.
- 2) 木村靖子(2022), 宇宙開発と調理学, 日本調理科学会誌, 55, 143-148.
- 3) 立花正一, 中沢孝, 渋川喜和夫(2008), 宇宙環境のストレスと宇宙食, 日本食品科学工学会誌, 55, 583-585.

- 4) 中沢孝(2014), 宇宙食の現状と災害食への活用, 科学技術動向, 2013-05/06(144), 15-23.
- 5) 辻野照久(2006), 微小重力利用の研究動向—宇宙環境と地上環境での研究の競争と協調—, 科学技術動向研究, 2006-04, 22-31.
- 6) John S. Lioumbas, Thodoris D. Karapantsios, Effect of increased gravitational acceleration in potato deep-fat frying, Food Research International, 55, 110-118.
- 7) 川上みずほ, 金子真(2015), Beyond Cook: 遠心力と熱を用いた新しいレシピ, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1P2-R03(1-2).
- 8) 坂本薫, 森井沙衣子, 上田真理子(2015), 炊飯における温水浸漬と低温浸漬が米の吸水率に与える影響, 日本調理科学会誌, 48, 194-199.
- 9) 松本博(1972), パンはどうしてふくれるか—製パンの科学—, 化学と生物, 10, 304-310.
- 10) 武田正明, 籬拓郎, 河原裕美, 弓削類, 栗栖薫脊(2010), 脊髓損傷に対する模擬微小重力培養骨髄間質細胞移植, 脊椎外科, 24, 90-91.
- 11) Shigeru Deguchi, Hirokazu Shimoshige, Mikiko Tsudome, Sada-atsu Mukai, Robert W Corkery, Susumu Ito, Koki Horikoshi(2011), Microbial growth at hyperaccelerations up to 403,627 x g. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108, 7997-8002.
- 12) 佐々木泰子(2015), ヨーグルトを創る乳酸菌共生発酵研究の細菌の知見, 日本乳酸菌学会誌, 26, 109-117.
- 13) 岡利春, 阿部宣之, 田中耕太郎, 森康彦, 長島昭(1991), 航空機による微小重力下のプール沸騰実験(残留加速度の影響についての考察), 日本マイクロソフトグラビティ応用学会誌, 8, 161-167.

表 1. 浸漬後の水分率 (%)

	うるち米	もち米	玄米	
1/1000 G	30.67±0.23	35.73±0.24	19.92±0.27	a
1 G	30.40±0.27	35.32±0.19	19.45±0.13	
5 G	30.51±0.19	35.38±0.24	18.19±0.18	b

a, b : 異なる文字間には $p<0.05$ で有意差あり

表 2. 発酵後のパンの密度 (g/cm³)

1/1000 G	0.25±0.01
1 G	0.27±0.02
5 G	0.27±0.01

表 3. ヨーグルトの成分

	pH (4H)	pH (8H)	pH (24H)	糖度 (4H) (%)	糖度 (8H) (%)
1/1000 G	6.56±0.03 b	6.46±0.01 a	4.45±0.05 a	13.73±0.19	13.7±0.11 a
1 G	6.43±0.05 b	4.89±0.11 b	3.9±0.01 b	13.25±0.48	9.81±0.95 b
5 G	6.19±0.01 a	4.41±0.05 c	3.9±0.02 c	14.35±0.12	7.28±0.26 b

	糖度 (24H) (%)	酸度 (4H) (%)	酸度 (8H) (%)	酸度 (24H) (%)
1/1000 G	7.1±0.27	0.00±0.00	0.00±0.00 a	0.43±0.03 a
1 G	7.74±0.45	0.00±0.00	0.25±0.02 b	0.72±0.03 b
5 G	7.15±0.12	0.00±0.00	0.31±0.02 b	0.74±0.04 b

a, b, c : 異なる文字間には $p<0.05$ で有意差あり

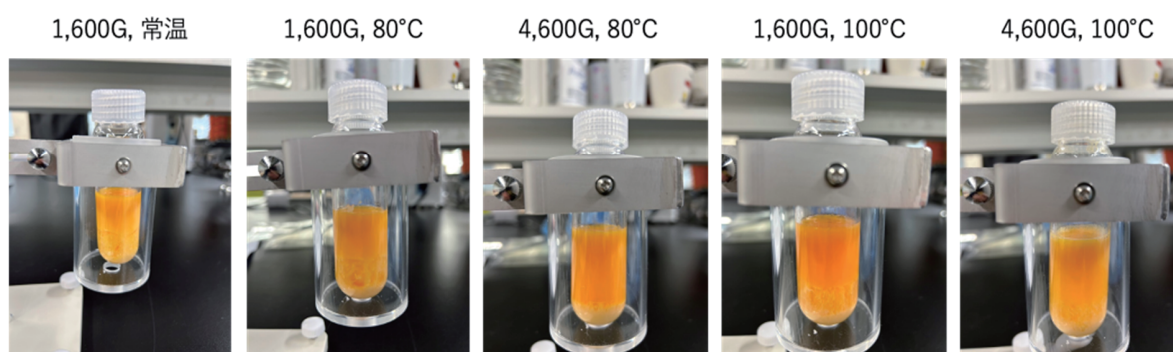


図 1. 鶏卵の遠心加熱