

海洋深層水で製造したマグネシウム強化食パン

Magnesium-enriched bread made using deep seawater

柴田雄次¹・野村道康¹・山本 樹¹・栗原(松井)紋子²・遠藤雅人²・山田勝久¹

Yuji SHIBATA¹, Michiyasu NOMURA¹, Tatsuki YAMAMOTO¹, Ayako KURIHARA (MATSUI)²,

Masato ENDO² and Katsuhisa YAMADA¹

Abstract

The intake of magnesium (Mg) which is one of the essential nutrients for human health has been decreasing in Japan since the national health and nutrition survey started in 1946. Therefore, efficient methods of Mg intake have been expected. Bread is the focus of attention as a food for efficient Mg intake because it has become one of the daily foods in Japan. In this study, we investigated the effect of water, which was used as the second largest ingredient following wheat flour as a material for bread making. Deep seawater (DSW) which contained rich Mg was used for bread making as the test water and tap water (TW) was used as a control. Bread making was carried out using a commercially available home bakery machine in this study. The amount of Mg in the test bread, the increment of which is the most important object in this study, and the amounts of other major minerals (Na, K, Ca) included in them were measured. In addition, the texture and physical characteristics of the test bread were evaluated. As a result, it was elucidated that the test bread was 5.3 times larger than the control bread in the amount of Mg. On the other hand, there were few differences in the texture and physical characteristics between the test bread and the control bread, which provided useful results in this study. Furthermore, it was elucidated that the test bread was higher than the control bread in a moisture retention capacity. From these results, it was suggested that DSW could be a promising ingredient in bread making for ingesting Mg efficiently.

Key Words: bread, deep seawater, Japanese food style, magnesium intake

要 旨

1946年に国民健康栄養調査が実施されて以来、日本ではヒトの健康に必須の栄養素であるマグネシウム(以下、Mg)の摂取量が減少している。それゆえに、Mgの効率的な摂取方法が期待される。そこで我々は食パンが今日の日本人にとって日常食となりつつあることから、効率的なMg摂取のための食品のひとつとして食パンに注目した。本研究では製パン材料として小麦粉に次いで2番目に多く用いられる水の影響について調査した。すなわち供試水としてMgを多含する海洋深層水(以下、DSW)および比較対照として水道水(以下、TW)を用いて食パンを製造した。なお本研究では家庭用として市販されているベーカリー機で製パンを行った。試験食パン中のMg量とそれに含まれるその他の主要ミネラル(Na, K, Ca)量を測定した。さらに試験食パンの評価として、食感および物性を調査した。その結果、試験食パンのMg含有量は、対照食パンの5.3倍多かった。一方、試験食パンと対照食パンの間には食感および物性にほとんど違いがなかった。さらに試験食パンは対照食パンと比較して水分保持力が高いことがわかった。本研究の結果から、DSWは効率的にMgを摂取するためのパン製造において有望な材料の1つとして期待される。

キーワード: 食パン, 海洋深層水, 日本人の食生活, マグネシウム摂取

¹ 株式会社ディーエイチシー 海洋深層水研究所 (〒106-0047 東京都港区南麻布2-8-21 南麻布MICビル7F)

² 国立大学法人東京海洋大学海洋生物資源学部門 (〒108-8477 東京都港区港南4-5-7)

1. 緒 言

マグネシウム（以下、Mg）は生命活動に関わる300種以上の酵素の働きに必須のミネラルである（Jahnen-Dechent and Ketteler, 2012）。これほどに重要なミネラルでありながらも、日本では国民健康・栄養調査が実施されるようになった1946年以降から今日に至るまで、Mgの摂取不足状態が続いている。最近の国民健康・栄養調査では日本人のMg平均摂取量は女性で平均235 mg/日、男性では平均261 mg/日とされている（厚生労働省, 2019a）が、これは日本の食事摂取基準（厚生労働省, 2020）である18歳以上の男女のMg推奨量の260–290 mg/日（女性）、320–370 mg/日（男性）をそれぞれ下回っており、慢性的なMg摂取不足状態にあると言える。Mgの欠乏は虚血性心疾患や糖尿病などの生命や生活の質（QOL）を脅かす疾病の発症との関連性が指摘されており（Nielsen, 2010; Ueshima, 2005）、今日の日本人の死因の第2位が虚血性心疾患であることや、日本人の約5人に1人に糖尿病の疑いがある（厚生労働省, 2019b）事実からも今日の日本人のMg摂取不足を解消することが重要と考えられる。古くから日本人は米を主食（特に玄米）とし、魚介類、野菜、豆類を副食としてMgを摂取していたが、高度経済成長期以降、いわゆる食の欧米化が急速に進展すると（津金, 2020）米の消費量が減少した。それと入れ替わるようにパン食への嗜好性が高まり、2008年にはパン類の年間支出額が米の支出額を上回るようになり（農林水産省, 2015）、2020年のパン類への支出額は31,456円に至り、米への支出額の23,920円を凌駕した（e-Stat, 2021）。また今後も日本人のパン食への嗜好性は増大するものと思われる。こうした背景の下、本研究では今日の日本人の食生活の変化に順応した効率的なMg摂取手段として、嗜好性が増大しているパン食に注目した。その中でも日本の家庭で日常的に食される機会が多い食パンを本研究の対象とすることにした。食パンの製造に供される材料の中で、小麦粉に次いで多く配合される「水」について、Mgを多く含む海洋深層水（以下、DSW）を代用してMg含有量の強化食パンの製造を試みた。その結果、若

干の知見が得られたので本報にて報告する。

2. 材料と方法

2.1 実験材料

食パンの製造に供する材料として、強力粉（カメリヤ、日清製粉）、上白糖（三井製糖）、マーガリン（ロビン（無塩）、日油）、脱脂粉乳（よつ葉脱脂粉乳、よつ葉乳業）、酵母（サフインスタントドライイースト（赤）、ルサッフル）、食塩（塩事業センター）を用いた。また、本研究の供試水としては、試験水にDSW（伊豆赤沢沖深度800 m、2020年7月採水）を、比較対照水には水道水（以下、TW; 東京都港区）を供した。なお、供試水のミネラル組成および硬度をTable 1に示す。

2.2 食パンの製造

DSWを使用して製造したパン（以下、DSW食パン）とTWを使用して製造したパン（以下、TW食パン）

Table 1. Minerals contained in DSW were analyzed by the DHC Corporation. Minerals contained in TW in Minato-ku, Tokyo, were analyzed by the Japan Food Research Laboratories.

Mineral element	(mg/L)	
	DSW	TW
Na	9,890	12
K	376	20
Ca	372	21
Mg	1,250	5
Hardness	6,055	73

Table 2. No cooking salt was used for DSW bread, because DSW used to make the bread contains salt equivalent to 5 g of cooking salt.

Materials	(g)	
	DSW bread	TW bread
Wheat flour	290	290
DSW	210	—
TW	—	210
Sugar	16	16
Margarine (salt free)	15	15
Skim milk	6	6
Cooking salt	—	5
Dry yeast	3	3

ン)は、いずれも市販の家庭用製パン機(象印自動ホームベーカリー-BBHA, 象印)を用い、各材料を加えて食パンを製造した(Table 2)。製造した食パンは、放冷(室温, 1時間)したのち、試験に供した。

2.3 食パンの評価

2.3.1 物性評価

2.2で製造した食パンについて、物性評価は中野ら(1995)の方法を参考に食パンの重量と体積を測定し、得られた結果から密度を算出した($n=5$)。

また食パンの水分量は、食パン1枚を厚さ2 cmにスライスした後、その中心部から縦2 cm×横1 cmの一片を切り出して試料とし、ハロゲン水分計(HR73 Halogen Moisture Analyzer, メトラー・トレド)を用いて測定した($n=5$)。

2.3.2 官能評価

インフォームドコンセントが得られた20代から70代の男女23名(男性9名, 女性14名)に2 cm角に切り出したDSW食パンとTW食パンを試食してもらい、食パンのきめ, 香り, 甘味, 柔らかさ及び総合評価の5項目で評価を行った(峯木ら, 2011)。なお官能評価は一重盲検法で行い、採点方法はモニターによる主観的評価で5点を満点とし、最低評点を1点として1点刻みで行った。

2.3.3 水分喪失率の測定

2.2で製造した食パン1枚を厚さ2 cmにスライスした後、電子天秤上に静置し、平均室温24.4°C, 平均湿度50%下で経時的に重量を測定した。なお水分喪失率の判定は試験開始120分後の重量変化から、下記の式より求めた($n=5$)。

水分喪失率(%)

$$= (\text{試験開始時の食パンの重量} - \text{試験開始120分後に測定した食パンの重量}) / (\text{試験開始時の食パンの重量}) \times 100$$

2.3.4 食パン中のMgとその他の主要ミネラル含有量および食塩相当量

2.2で製造した食パンを厚さ2 cmにスライスしたのち、市販のフードプロセッサー(フードプロセッ

サー-KC-D627, ツインバード)で粉碎して試料とした。本試料0.5 gを精密に計量し、硝酸(超微量分析用, 和光)を8 mL加えて湿式分解(Microwave Digestion System Standard, マイルストーンゼネラル)を行った。湿式分解後の試料に蒸留水(高速液体クロマトグラフィー用, キシダ化学)を加えて50 mLに定容後、これを蒸留水で10倍に希釈して、ICP分析装置(SPS7800, 日立ハイテクサイエンス)に供して、Mgおよびその他の主要ミネラル(Na, K, Ca)の含有量を分析した($n=5$)。

また食塩相当量は、下記の式(日本高血圧学会, 2011)から算出した。

$$\begin{aligned} \text{食塩相当量 (g/100 g)} \\ = \text{Na (mg/100 g)} \times 2.54 \div 1,000 \end{aligned}$$

2.4 統計処理

本研究で得られたデータは平均値±標準偏差で表し、Student's *t*-testによる2群間検定により有意差を判定した。

3. 結 果

3.1 物性

DSW食パンとTW食パンの重量, 体積, 密度および水分量を比較した結果, Table 3に示すようにいずれの項目においても差異は認められなかった。

3.2 官能評価

食パンのきめ, 香り, 甘味, 柔らかさ及び総合評価の5項目に対する官能評価の結果, Table 4に示すように物性試験と同様にいずれの項目においてもDSW食パンとTW食パンには有意差は認められなかった。

Table 3. Physical characteristics of two kinds of bread.

Parameters	DSW bread	TW bread
Weight (g)	477.7 ± 1.3	473.8 ± 2.0
Volume (cm ³)	1,662.6 ± 98.1	1,748.6 ± 70.2
Density (g/cm ³)	0.29 ± 0.02	0.27 ± 0.01
Moisture (w/w, %)	43.5 ± 0.3	43.4 ± 1.2

Table 4. The score was given from 1 point as the lowest score to 5 points as the highest score ($n=23$, mean \pm SD).

Parameters	DSW bread	TW bread
Texture	3.3 \pm 0.8	3.5 \pm 0.7
Fragrance	3.4 \pm 1.1	3.6 \pm 0.7
Sweetness	3.2 \pm 0.8	3.5 \pm 0.7
Softness	3.3 \pm 0.8	3.8 \pm 0.7
Total score	3.4 \pm 0.8	3.8 \pm 0.7

Table 5. The water loss rate was evaluated at 120 minutes later of starting the experiment. The asterisk indicates a significant difference between DSW bread versus TW bread ($n=5$, mean \pm SD, * $p<0.05$, Student's *t*-test).

	DSW bread	TW bread
Water loss rate (%)	3.0 \pm 0.2*	3.3 \pm 0.2

Table 6. Asterisks indicate a significant difference between DSW bread versus TW bread ($n=5$, mean \pm SD, * $p<0.01$, Student's *t*-test).

Elements	DSW bread	TW bread
Mineral element		
Na (mg/100 g)	433.7 \pm 15.3*	391.2 \pm 9.8
K (mg/100 g)	134.8 \pm 0.8*	126.3 \pm 2.3
Ca (mg/100 g)	34.7 \pm 0.5*	17.3 \pm 0.6
Mg (mg/100 g)	63.2 \pm 0.9*	12.0 \pm 0.2
Salt equivalent (g/100 g)	1.10 \pm 0.04*	0.99 \pm 0.02

3.3 水分喪失率

Table 3に示すようにDSW食パンとTW食パンの水分量には有意差は見られなかったが、室温下で2時間静置したDSW食パンの水分喪失率は、同様に処置したTW食パンよりも有意 ($p<0.05$) に低かった (Table 5)。

3.4 Mgおよびその他の主要ミネラル含有量と食塩相当量

DSW食パンとTW食パンの主要ミネラル含量の結果をTable 6に示す。Mg含有量についてはDSW食パンの方がTW食パンよりも5.3倍高かった。またその他の主要ミネラルと食塩相当量についても、DSW食パンはTW食パンよりも1.1-2.0倍高かった ($p<0.01$)。

4. 考 察

DSWに脱塩処理等を施して飲料水化した飲用

DSWについては、健康の維持・増進効果に関する臨床研究報告が見られるが(山本ら, 2018), 最近この飲用DSWで調製した出汁に健康の維持に重要な働きを有する腸管のバリア機能を亢進する作用があることが*in vitro*研究で見出された(山田ら, 2020)。これらの報告から、今後更なるDSWを用いた食品に対する健康効果の研究進展が期待される。DSWは海水同様、地球上のあらゆるミネラルを含有しており(高橋, 2005), そのミネラル組成は、ヒトの生体中のミネラル組成に近似し(木村, 2006), 特にMgが豊富に含まれている。さらにDSWの塩分組成(Table 1)から、例えば、食塩を含む食品などのミネラル構成が多種多様な食品を製造する際に利用可能と考える。一方、硬度が高い飲料水は飲み難いとされ、特にMgを多含する水はその傾向が強い(山田ら, 2020)。そこで本研究では飲料水としての利用ではなく複雑なミネラル分の苦みを減ずるために多くの原材料で構成される食品にDSWを使用するというのを考えた。またDSWは表面海水に比べて清浄性が高いので、食品への利用には適すると考える。以上を考慮して今回、緒言でも示したように研究対象とする食品として、近年日本の家庭で日常的に食される機会が多い食パンに着目した。製パン時に硬水を供すると、小麦中のグルテンの形成(長尾, 1995)に影響してパンの物性を左右することが知られている(Stefan *et al.*, 2015)。よって今回もDSWを使用して食パンを製造するにあたり、その物性や食味に対する影響が懸念された。しかし、実際には製造したDSW食パンは、物性面および食味等の官能検査においてTW食パンとの間に有意差が見られなかったことから、食パン製造時に通常使用するTWに代えてDSWを供してもパンの基本物性や官能検査で影響がないと考えられる。またDSW食パンはTW食パンに比べて水分喪失を有意 ($p<0.05$) に抑制するというDSW食パンの耐乾燥性が見出された(Table 5)。Mg含有量をはじめとしたミネラル量について分析したところ、DSW食パンのMg含有量の分析値は、63.2 mg/100 gであり、比較対照のTW食パンの5.3倍に強化されたことがわかった。以上、得られた本研究のDSW食パンは、食品

表示法で定められている「食品表示基準（平成27年内閣府令第10号）」（消費者庁，2015）に基づく，Mgの強調表示が可能となる含有量に到達していた。これに加えてNaをはじめ，KおよびCaなどのその他の主要ミネラルの含有量についてもDSW食パンはTW食パンよりも有意 ($p < 0.01$) に増加していたことから，DSW食パンは，総合的なミネラルの補給源としても好適な食品であることが期待できる。今日の日本人のMg推奨量として，女性で25-55 mg/日，男性で59-109 mg/日程度が不足していると推定されるが，本研究のDSW食パンがこれらの不足分を利便的に充足できる可能性が期待される。なお実際の生体における不足分の充足については，今後の臨床的な研究成果を待つ必要がある。

最後に，高級食パンのブームが到来して食パンのさらなる消費拡大が期待される今日において（矢野経済研究所，2021），パン製造に用いる水としてのDSWの利活用がMg摂取量の強化のみにとどまらず，製パン後の耐乾燥が見出されたことから，今後製パンにおけるDSWの利用が活発になることを期待したい。

謝 辞

本研究のミネラル分析にあたりご協力いただきました，東京海洋大学学術研究院の芳賀稯准教授に深く感謝申し上げます。

参考文献

- e-Stat (2021) 家計調査家計収支編二人以上の世帯. <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003348239> (2021年9月2日閲覧).
- Jahren-Dechent, W. and M. Ketteler (2012) Magnesium basics. *Clin. Kidney J.*, 5, 3-14.
- 木村美恵子 (2006) ミネラル栄養と飲料水. *ビタミン*, 80, 59-69.
- 厚生労働省 (2019a) 令和元年国民健康・栄養調査報告. https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou_eiyouchousa.html (2021年4月9日閲覧).
- 厚生労働省 (2020) 「日本人の食事摂取基準（2020年版）」策定検討会報告書. https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_08517.html (2021年4月9日閲覧).
- 厚生労働省 (2019b) 令和元年 (2019) 人口動態統計 (確定数) の概況. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei19/index.html> (2021年5月19日閲覧).
- 峯木真知子・田中隆介・田中友香里・西念幸江・五百藏 良・庄司善哉 (2011) 泡あり・泡なし清酒酵母の違いが食パンの構造およびおいしさに与える影響. *日本官能評価学会誌*, 15, 98-106.
- 長尾精一 (1989) 小麦粉の知識 (1) —グルテンが小麦粉のいのち—. *調理科学*, 22, 125-129.
- 中野淳子・大羽和子 (1995) 食パンの物性および食味特性に及ぼす緑黄色野菜粉末添加の影響. *日本家政学会誌*, 46, 321-329.
- Nielsen, F. H. (2010) Magnesium, inflammation, and obesity in chronic disease. *Nutr. Rev.*, 68, 333-340.
- 日本高血圧学会 (2011) 栄養成分表示における食塩相当量 (g単位) の表示義務化要望について. <https://www.jpnsj.jp/data/salt05.pdf> (2021年5月28日閲覧).
- 農林水産省 (2015) 平成24年度食料・農業・農村白書. https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h24/zenbun.html (2021年4月12日閲覧).
- 消費者庁 (2015) 食品表示基準. https://www.caa.go.jp/policies/policy/food_labeling/food_labeling_act/assets/food_labeling_cms101_210317_01.pdf (2021年5月20日閲覧).
- Stefan, E. M., G. Voicu, G. A. Constantin, M. Ferdes and G. Muscalu (2015) The effect of water hardness on rheological behavior of dough. *J. Eng. Stud. Res.*, 21, 99-104.
- 高橋正征 (2005) 海洋深層水が含むミネラルとその利用の現状. *日本海水学会誌*, 59, 195-200.
- 津金昌一郎 (2020) 日本人にとっての“健康な食事とは何か？” —疫学研究からの考察—. *フードシステム研究*, 27, 80-87.
- Ueshima, K. (2005) Magnesium and ischemic heart disease: a review of epidemiological, experimental, and clinical evidences. *Magnesium Res.*, 18, 275-284.
- 山田勝久・山本 樹・柴田雄次・野村道康・今田千秋 (2020) 飲用海洋深層水で調製した昆布とかつお削り節だしのうま味強化と *in vitro* におけるタイトジャンクション関連タンパク質の発現亢進作用. *海洋深層水研究*, 21, 21-30.
- 山本 樹・山田勝久・許 鳳浩・鈴木信孝・高橋正征 (2018) 海洋深層水の未病・予防医学分野における展望. *日本補完代替医療学会誌*, 15, 67-77.
- 矢野経済研究所 (2021) パン市場に関する調査を実施 (2021年). https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/2693 (2021年10月15日閲覧). (2021年6月11日受付；2021年10月26日受理)