閉経期女性における豆腐Caの吸収率および必要量に関する研究

垂水千恵*[1]・VU THI THU HIEN[1,2]・猿倉薫子[1]・山本　茂[1]

[1]お茶の水女子大学大学院国際栄養学分野　[2]National Institute of Nutrition, Vietnam

Absorption Rate and Requirement of TOFU Ca in Post-Menopausal Women

Chie TARUMIZU[1], Hien Vu Thi THU[1,2], Nobuko SARUKURA[1] and Shigeru YAMAMOTO[1]

[1]International Nutrition, Ochanomizu University Graduate School, Tokyo 112-8610
[2]National Institute of Nutrition, Hanoi, Vietnam

ABSTRACT

Ca concentration of TOFU is as high as that of cow's milk, while bioavailability of the former is believed to be lower than that of the latter. It is based on a report from an old study in Japan, however, the studies from all over the world showed rather similar absorption rates of them. The purpose of this study was to find the absorption rates and requirements of Ca in TOFU and skimmed milk by balance studies. Twelve post-menopausal women were recruited on a voluntary basis and two nutrition studies were conducted. In the first study subjects were randomly allocated to 15 d on basal diets (300 mg Ca) with TOFU (300 mg Ca) or skimmed milk (300 mg Ca) separated by a 15 d washout interval in a crossover design. In the second study, only basal diets (300 mg Ca) were given for 15 d. Basal diets were 3 cycle menus. Feces and urine of the last 5 d were collected in both studies and Ca concentrations were analyzed. Apparent absorption rates of TOFU and skimmed milk were 33±32 and 21±31%, respectively. Average Ca requirements of TOFU and skimmed milk estimated by the balance study were 502±84 and 625±89 mg/d, respectively. The results suggest that TOFU is a good Ca source. *Soy Protein Research, Japan* **11**, 15-19, 2008.

Key words：tofu, skimmed milk, Ca balance, post-menopausal women

高齢化が進む中，骨粗鬆症は重要な健康問題[1]だが，この発症にはCaの摂取不足が大きく関与している．近年の国民健康・栄養調査の結果によると，日本人のCa摂取量は食事摂取基準を満たしていない[2]．Ca推奨量は各国で大きく異なる．成人１日あたりの推奨量は，米国では1,300 mg以上[3]，ベトナムでは500 mg以上[4]，我国では600 mg以上[5]である．体格や生活環境が異なることを考慮しても，これほど大きな差があるのはエビデンスの不足があるからであろう．大豆食品は，我国をはじめとするアジア諸国で古くから日常的に摂取

*〒112-8610　東京都文京区大塚2-1-1

されてきた．大豆製品は牛乳に劣らないよいCa供給源である[6]（100 gあたり牛乳100 mg，木綿豆腐120 mg）にも関わらず，牛乳ほど評価は高くない．その背景には1953年の兼松らの報告[7]がある．後に，兼松の報告に準じた試験[8]が行われ，兼松らの結果を支持する結果となった．一方，世界中の論文レビューの結果では，牛乳や大豆製品のCa吸収率は似ているというものが多い[9]．

ベトナム閉経女性における骨粗鬆症罹患率は高く，その主原因は，Caの摂取不足である[10]．ベトナムでは牛乳を飲む習慣がほとんどない．馴染みのある大豆製品のCa含量の生体利用効率が高いならば，それらの利用は住民のCa摂取量向上のために意義があろう．本研究ではベトナムの閉経期の女性の豆腐とスキムミルクのCaの吸収率および必要量について調べた．

方　　法

被験者

被験者は，ベトナムの54歳から65歳の健常な閉経期女性で，閉経後５年経過，農業従事者，および骨密度が正常値の者（Speed of Sound：SOS測定値1,500 m/s以上，Furuno CM-100，東京）12名とした．被験者の身体的特徴をTable 1に示した．研究開始前の不連続な３日間の24時間思い出し法による食事調査の結果，平均Ca摂取量は，347±61 mgであった（Table 1）．除外基準は，下痢または便秘などがある者，Caやビタミンなどのサプリメントを摂っている者，消化管手術経験者，Ca代謝に影響のある疾患，胃がん・糖尿病・腎臓病・肝臓病などの既往歴がある者，BMIが18.5以下あるいは25.0以上の者，喫煙者，３人以上の子どもの出産経験者とした．なお本試験は，ベトナム国立栄養研究所倫理委員会の承認を得て，ヘルシンキ宣言を遵守し，実施した．

Table 1. Physical characteristics of subjects[1]

Age (years)	58±4
Height (cm)	149±5.8
Body weight (kg)	44±4.8
BMI	19.8±1.5
Usual Ca intake (mg/d)	347±61
Bone density SOS (m/s)	1,522±20
	(standard value 1,500>)

[1] Number of the subjects was 12 post-menopausal women. Values are mean±SD.

試験デザインおよび試験食

二つの実験を実施した．実験１の方法を，Fig. 1に示した．実験１では，被験者を無作為に２群に分け，基本食（300 mg Ca/d）の上に，豆腐（300 mg Ca/d）あるいは脱脂粉乳（300 mg Ca/d）をクロスオーバー法で15日間ずつ与えた．途中に15日間のウォッシュアウト期を設けた．第２の実験では15日間基本食（300 mg Ca/d）のみを与えた．全ての実験で，15日間の最後の５日間を出納期間として尿および便を全量採取した．出納期間の採便マーカーとしてカルミンを使用した．試験食の陰膳および残食を採取した．試験期間中は，毎日体重測定と質問票による問診（健康状態，排便状況，残食の確認）を行った．

基本食，豆腐，脱脂粉乳および飲料水のCa含有量を分析し，それぞれの食事のCa含量が各約300 mgとなるように調整した．エネルギー，たん白質，ビタミンD，リン，マグネシウム，食物繊維の摂取量はベトナムのRDA[4]を満たすよう設定した．基本食は３種類のサイクルメニューとした（Table 2）．試験食以外は飲料水のみとし，提供される食事以外の食品や栄養サプリメントを摂取することを禁止した．被験者が消費する飲料水は毎日計量，記録して摂取してもらった．

Ca分析方法

食事および回収した便は，Ca分析のための全処理を行った．すなわち，110度，24時間熱風乾燥後，硝酸で湿式灰化し，灰化後塩酸に溶解した．これらの処理済試料，尿および水のCa含量は原子吸光度計で測定（島津理化製　AA-6800）した．データの解析には，米国SPSS社の統計ソフトSPSS ver.15 for Windowsを用いた．試験食間の結果の比較は，Wilcoxonの符号付き順位和検定で行った．有意水準は５％とした．

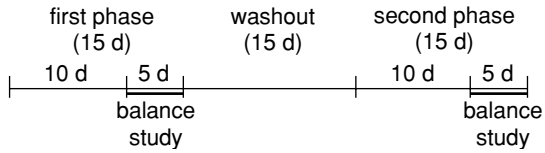

Fig. 1. Design of the first study. The subjects were randomly allocated to 15 d on basal diets (300 mg Ca) with TOFU (300 mg Ca) or skimmed milk (300 mg Ca) separated by a 15 d washout interval in a crossover design. Feces and urine of the last 5 d were collected in both studies and Ca was analyzed.

結　　果

全試験期間を通じて，被験者12名全員に追加食はなく，ドロップアウトした者はいなかった．Table 3に豆腐食，牛乳食および基本食のCaの出納値およびみかけのCa吸収率の結果を示した．

便中Ca量（mg/d）は豆腐群で426±200（Mean±SD），牛乳群で498±193となり，豆腐群に比べて牛乳群で同等かやや高かった（$p<0.05$）．また，出納値（mg/d）は豆腐群で64±210，牛乳群で−10±203，みかけのCa吸収量（mg/d）は豆腐群で208±200，牛乳群で136±193，みかけのCa吸収率（%）は豆腐群で33±32，牛乳群で21±31となり，牛乳群に比べて豆腐群で同等かやや高かった（$p<0.05$）．

また，基本食摂取時には，Ca出納（mg/d）が−130.0±101.6となり，明らかな負となった．Fig. 2に基本食と豆腐食および牛乳食を摂取したときの出納値を示した．基本食と実験食の間に直線を引き，出納値が0を示す点をCa必要量とした．Ca必要量（mg/d）は，豆腐食摂取時で502±84，牛乳食摂取時で625±89であった．

考　　察

今回の研究の結果，豆腐群および牛乳群のみかけのCa吸収量（mg/d）は，それぞれ208±200，136±193，Ca吸収率（%）は，それぞれ33±32，21±31であり，牛乳群に比べて豆腐群で同等かやや高かった（$p<0.05$）．

これまで，牛乳Caの吸収率は他食品と比較すると特に優れているとされてきた．その背景には，1953年の兼松らの報告[7]がある．彼らの研究は，わずか4名の被験者に，牛乳，小魚，炭酸Caおよび野菜を4レベルで与えて調べたものである．適応期間は3日と短

Table 2. Three cycle menus and their energy and nutrient concentrations

	Menu A	Menu B	Menu C
Breakfast	noodles with pork lean	rice noodles with tomato	sticky rice with pork lean
Lunch	cooked rice, pork medium fat murder, winter melon soup, fruits	cooked rice, fried fish with fish sauce liquid, mustard green soup, fruits	cooked rice, pork medium fat fry, boiled cabbage
Dinner	cooked rice, fried fish with tomato, kohlrabi hard-boiled, fruits	cooked rice, pork medium fat fad-boiled, pumpkin soup, squash fly, fruits	cooked rice, boiled chicken, winter melon soup, fruits
Energy (kcal)	1,954	1,859	2,179
Protein (g)	81.2	73.4	84.0
Fat (g)	41.6	41.9	64.9
Carbohydrate (g)	315	298	316
Ca (mg)	301	302	302

Table 3. Ca absorption rates and balances observed in 12 post-menopausal women by 3 dietary treatments[1)]

	dietary treatments		
	TOFU＋basal diet	cow's milk＋basal diet	basal diet
intake (mg/d)	634±10[a]	634±10[a]	330±8
feces (mg/d)	426±200[a]	498±193[b]	310±95
urine (mg/d)	145±42	146±54	150±36
balance (mg/d)[2)]	64±210[a]	−10±203[b]	−130±102
retention rate (%)[3)]	10.0±33.1[a]	−1.6±32.0[b]	−39.4±30.8
apparent absorption (mg/d)[4)]	208±200[a]	136±193[b]	20±95
apparent absorption rate (%)[5)]	32.8±31.6[a]	21.4±30.5[b]	6.1±28.8

1) Mean±SD (n＝12). Different alphabets in the same line indicate significant differences between the two dietary treatment groups (Tofu＋basal diet and Cow's milk＋basal diet) by Wilcoxon Signed Ranks Test ($p<0.05$).
2) Balance (mg/day)＝Intake − (Feces＋Urine)
3) Retention rate (%)＝Balance/Intake×100
4) Apparent absorption (mg/day)＝Intake − Feces
5) Apparent absorption rate (%)＝Apparent absorption/Intake×100

く，また被験者のCa投与レベルが個々で異なり適切なデザインとは言えないが，牛乳Caの吸収率が高いと結論づけており，それが現在まで教科書的に当然のこととして信じられてきた．しかし，一方で世界の文献を調べてみると，牛乳Caの吸収性が豆腐をはじめとする他の食品のそれに比べて優れているという根拠は見られない[9]．大豆製品のCa利用効率は，成人男性において豆乳と牛乳の利用効率に差がないとするもの[11]や20代成人で豆乳22.6%，練乳29.1%とするもの[12]，マウスできな粉63%，粉乳46%[13]，８週令ラットで牛乳77%，Ca強化豆乳61%[14]などの報告があり，大豆Caの生体利用効率は豆乳，豆腐，きな粉などに加工すれば乳類のCa利用率に劣らないほど良いと考えられる．本研究の結果もこれを支持する結果となった．従って，実験条件や分析方法，吸収率の算出方法が多少異なるものの，大豆も吸収率の良いCa源であると言える．一方，大豆に含まれるフィチン酸はCaを不溶化するため，体内でのCa吸収を阻害すると言われている[15,16]．しかし，本研究からヒトが日常摂取する程度のフィチン酸の量では，Caの吸収率に影響を及ぼすほどのものではないということが示唆された．

今回の試験では試験期間15日間のうち，最初の10日間を適応期間，続く５日間を出納期間とした．適応期間は３日では少なく３週間だと安定するという報告がある[17]。しかし，出納試験は，被験者への負担が大きく，３日から１週間を適応期間とするものが多い．今回，我々は10日間を適応期間としたが，10日間で被験者全員が十分に適応できなかった可能性は否定できない．

Ca必要量（mg/d）は，豆腐食摂取時で502±84，牛乳食摂取時で625±89と推定された（Fig. 2）．この結果を平均して，ベトナム閉経後女性のCaの平均必要量は約550 mg/dと推定された．住民の98%の必要量を満たすと定義されている推奨量は，平均推定必要量に２倍の標準偏差値を加えたものである．それゆえ，彼らの推奨量は約700 mg/dと推測された．これは，日本人の推奨量600 mg[5]に近いが，米国の推奨量1,200 mg[3]に比べるとはるかに低い．しかしながら，予備調査では被験者の日常的なCa摂取量（mg/d）は347±61と非常に低かったことが吸収率を高めた可能性も，今後検討していく必要があろう．基本食（約Ca300 mg/d）摂取時のCa出納（mg/d）は－130±102で，明らかに負であった．このことは，日常的なCa摂取量347±61 mg/dでは慢性的にCa摂取量が不足していることを示唆している．

本研究の限界についても認識しておく必要があろう．本研究ではクロスオーバー試験法を用い，かつ身体的特徴や生活習慣を考慮し，さらに除外基準を設定することで，出来る限り個人差によるバイアスが生じないようにした．しかし，食物の消化管通過時間の違いや骨代謝に関連するビタミンDレセプター遺伝子など調査できない項目も多かった．したがって，個人差のみられるCa必要量および推奨量を実験栄養学的研究のみで決定することは難しく，今後さらに長期の疫学的研究で骨密度と各種の影響因子との相関関係を明らかにし，各種条件での必要量を比較研究していくことが必要である．

また，我々が最近行ったベトナムでの栄養調査の結果，女性に骨密度の低い者が多いこと，その改善に現地で利用できる小エビや小カニの摂取が有効であることが明らかになった[18]．本研究で豆腐が牛乳に劣らない良いCa源であることが証明されたため，骨粗鬆症予防のために，牛乳や現地で容易に利用できる食品と合わせて豆腐の摂取を高めていくことは意義があると言えよう．同様のことは豆腐文化をもつ他の東南アジア諸国についても言えるだろう．

以上の結論として，豆腐のCaの生体利用効率は高く，アジア人のCa供給源として好ましい食品であることがわかった．今後は，異なる年齢層における出納試験や規模の大きな疫学的研究により，今回の結果を確認をしていく予定である．

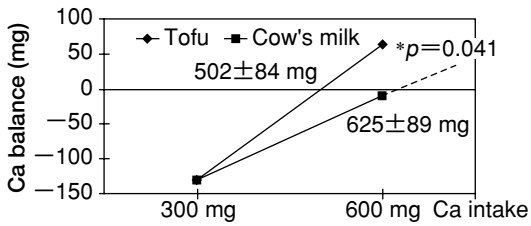

Fig. 2. Regression lines of Ca balance between basal diet and test diets. Mean±SD. *Significant difference in values between the two groups by Wilcoxon Signed Ranks Test ($p<0.05$).

要　　約

豆腐は牛乳と同じ程度にCa含量が高いが，その利用効率は牛乳に比べて劣ると一般に信じられている．それは古い日本の研究の結果に基づいている．しかし，世界中からの報告を見ると，豆腐や大豆製品のCa吸収率は牛乳や乳製品と似ているという報告が多い．本研究では，牛乳と豆腐のCaの吸収率および必要量を出納法で明かにせんとした．閉経女性12名を被験者として二つの実験を行った．実験１は15日のウォッシュアウト期間を挟んだクロスオーバー試験とした．被験者を無作為に２群に分け，15日間，基本食（300 mg Ca）に豆腐（300 mg Ca）あるいは脱脂粉乳（300 mg Ca）を与えた．実験２では基本食（300 mg Ca）を15日間与えた．基本食は，３種類のサイクル加えた食事とした．15日間の実験期間の最後の５日間の便および尿を集め，Caを分析した．豆腐食と脱脂粉乳食のCaの見かけの吸収率（％）は，豆腐群で33±32，牛乳群で21±31であった．基本食（300 mg Ca）と実験食（600 mg Ca）摂取時のCa出納値の間に引いた線から求めたCa必要量（ゼロ出納値）の摂取量は，豆腐と脱脂粉乳でそれぞれ，502±84 and 625±89 mg/dであった．以上の結果は，豆腐がよいCa源であることを示している．

文　　献

1) Delmas PD and Fraser M (1999): Strong bones in later life: luxury or necessity? *Bull World Health Organ*, **77**, 416-422.
2) 健康・栄養情報研究会編 (2006)：厚生労働省平成16年国民健康・栄養調査報告．第一出版．
3) Institute of Medicine (1999): Dietary reference intakes for calcium phosphorus, magnesium, vitamin D, and fluoride." Washington DC: National Academy Press, p 380.
4) Khan NC and Hoan PV (2007): Vietnam recommended dietary allowances 2007, *Asia Pac J Clin Nutr*, **17**, 409-415.
5) 厚生労働省 (2005)：日本人の食事摂取基準 (2005年度版)．第一出版．
6) 香川芳子監修 (2007): 五訂増補日本標準食品成分表，女子栄養大学出版部，p60，220.
7) 兼松重幸 (1953)：成人に於ける各種食品中のカルシウム利用並にカルシウム所要量に関する研究．栄養と食糧，**6**，135-147.
8) 上西一弘，江澤郁子，梶本雅俊，土屋文安 (1998)：日本人若年成人女性における牛乳，小魚（ワカサギ，イワシ），野菜（コマツナ，モロヘイヤ，オカヒジキ）のカルシウム吸収率．日本栄養・食糧学会誌，**5**，259-266.
9) 中嶋洋子，江指隆年：カルシウム源の差によるカルシウム吸収率の比較検討 (1994)：各食品中カルシウムの乳類カルシウム利用率との比較（乳類カルシウム利用率を100として）．臨床栄養，**85**，81-85.
10) Thuy VTT, Chau TT, Cong ND, et al (2000): Assessment of low bone mass in Vietnamese: comparison of QUS calcaneal ultrasonometer and data-derived T-scores. *J Bone Miner Metab*, **21**, 114-119.
11) Adolph WH and Chen SC (1946): The utilization of calcium in soy bean diets. *J Nutr*, **32**, 413-422.
12) Lawrence J Schroeder, William MC and Smith AH (1946): The Utilization of Calcium in Soybean Products and Other Calcium Sources. *J Nutr*, **32**, 413-422.
13) 佐藤徳子 (1955)：主要Ca供給食品の生体内利用に関する実験的研究．栄養と食糧，**8**，110-115.
14) Elizabeth J, Brink PR, Emerentia D, Van Beresteijn CH and Beynen AC (1992): Bioavailability of magnesium and calcium from cow's milk and soya-bean beverage in rats. *Br J Nutr*, **68**, 271-282.
15) Sato R, Noguchi T and Naito H (1986): Casein phosphopeptide (CPP) enhances calcium absorption from the ligated segment of rat small intestine. *J Nutr Sci Vitaminol*, **32**, 67-76.
16) Erdman JW (1979): Oilseed phytates :Nutrirional implications. *JAOCS*, **56**, 736-741.
17) 上西一弘，石田裕美，亀井明子，他. (2000)：若年女性のCa必要量－高齢者との比較－．*Osteoporosis Jpn*, **8**, 217-219.
18) Hien VTT, Khan NCK, Lam NT, Mai LB and Le NTD (2005): The prevalence of osteoporosis and related factors in Vietnamese adult women. *Am J Epidemiol*, **161**, 824-830.