

豆腐づくりを教材化するための基礎的研究 ー豆腐のできる条件探しを中心にー

山下絵美¹⁾、広木正紀²⁾、村上忠幸³⁾

1) 城東諏訪郵便局 emi-yama@mrj.biglobe.ne.jp

2) 京都教育大学 理学科 hiroki@kyokyo-u.ac.jp

3) 京都教育大学 理学科 tmurakam@kyokyo-u.ac.jp

キーワード 豆腐づくり、にがりづくり、ゲル、教材

(受付：2001年5月8日)

抄録 豆腐づくりを教材化するための基礎的研究として、豆腐のできる条件について実験を通して調べた。1)にがり、海水から蒸発皿と茶こしを用いた簡便な方法で得られ、それを用いて大豆から豆腐をつくることができる。2)無機塩には、 $MgCl_2$ 、 $CaCl_2$ 、 $CaSO_4$ 、 $MgSO_4$ のように豆乳凝固作用が認められるものと、 $CaCO_3$ 、 KCl 、 $NaCl$ のように認められないものがある。3)天然にがりや無機塩を用いなくとも、熱処理あるいはレモン汁や酢で豆乳を凝固させることはできるが、豆腐の味はしない。4)豆腐は、黒豆や落花生からもつくることができるが、ウズラ豆、小豆、ソラ豆、エンドウ豆（でんぷん含量が多い）などからはできない、等が判明した。豆腐づくりにかかわるこれらの活動は、「食生活と自然とのつながり」に目を向ける環境学習において、また「身近な物質の状態変化、特にゾル・ゲル変化」に目を向ける理科学習において、小学校から高校まで、レベルに応じて探究的な活動教材として適用できると考えられる。

自分の生活に欠かせない食べ物を手がかりにして、理科ばなれ、自然ばなれの進んでいる最近の子ども達に、少しでも自然や科学に対する好奇心や興味を持たせたいと考え、第一著者は1999年度の卒業研究として、豆腐づくりを教材化するための基礎研究に取り組んだ。豆腐づくりを教材として取り上げた報告はいくつかある（實野、1958；川村、1997；愛知生物サークル、1999；小島、1999；川村・松原、1999など）が、ここでは、卒論（山下、2000）の中で、従来の報告にあまり見られない「豆腐のできる条件探し」、特に「豆乳が固まる条件探し」を試みた部分を中心に報告する。

I. 方法

1. 豆腐作りの方法・手順

まず、渡辺（1959）、實野（1958）、津村（1984）、木谷（1997）等の方法を参考にし、市販の乾燥大豆と凝固剤（市販の天然にがり）を用いていくつか豆腐作りを試みた。それに基づき、本研究では、以後次の方法・手順を基準として実験を行うことにした。

乾燥大豆 → 浸水 → 水と一緒に磨碎(呉が生成)* → 煮沸 → 布で搾(しぼ)る

→ 豆乳 → 温度が 75 °C まで下がった → 水を抜く → 木綿豆腐
→ おから → たら凝固剤を加える → 全部固める → 絹ごし豆腐**

* 乾燥大豆を一晩水に浸すと重さは約 2 倍になる。呉を得るため、浸水後の豆 100 g に対して水 300 cm³ を加え、ミキサーで磨碎した。

** 本研究では 2-4) を除き、上記のうち絹ごし豆腐の手順を採用した。すなわち、原則として次のようにした。豆乳の温度が 75 °C に下がったとき、その 30 cm³ をビーカー (30 cm³) に移し、凝固剤を加えながら混ぜ、そのまま 3 分間放置した後、シャーレにあげ、シャーレ上の様子により豆乳の固まり具合を評価する。

2. 固まり具合の指標の設定

豆乳の固まり具合について、次の 5 段階の指標を設定した(図 1 も参照)。

指標 1 … 豆乳のままの状態

指標 2 … ほとんど豆乳のままだが、少しどろどろと固まっているところがある

指標 3 … 全体にどろどろとして固まっているが、シャーレにあげたとき崩れてもとの形をとどめない

指標 4 … 豆腐として形になりかけているが、柔らかくて崩れている部分がある

指標 5 … 完全な豆腐として固まっている

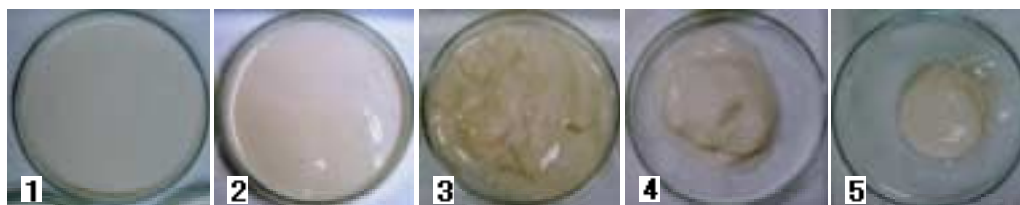


図 1. 30 cm³ ビーカーに入れて何らかの方法で処理(凝固剤と混ぜ合わせる等)した豆乳 30 cm³ を、シャーレにあげたときの様子。数字は、豆乳の固まり具合の指標。

II. 結果と考察

1. 手順を変えても豆腐ができるかどうかを調べる実験

まず、一般に用いられている作り方の手順(方法の項の 1 参照)を少しずつ変えて、豆腐作りを試みた。凝固剤としては、市販のにがりを一定量(豆乳 30 cm³ あたり 0.5 cm³) 用いた。

浸水後の大豆 $\xrightarrow{a}$ 磨碎する $\xrightarrow{b}$ 搾(しぼ)る $\xrightarrow{c}$ 豆腐?

上の手順における a, b, c のいずれかで、加熱やにがりの添加を行い、豆腐ができ

るかどうかについて検討した。

1) aで煮沸する

大豆に水を加えてまず煮沸した。こうして得られた煮豆を磨砕した。この磨砕物を搾ると豆乳は出て来たが、にがりを加えても固まらなかった（固まり具合の指標1）。

2) bで煮沸し、cで、冷めてから凝固剤を加える

手順は一般の作り方（方法の項の1参照）に沿っているが、通常は豆乳が75℃に下がったときににがりを加えるのを、75℃よりもっと温度が下がり、60℃、40℃、25℃にまでなったとき（この段階では豆乳は固まっていない）に、にがりを加えてみた。その結果、豆乳が75℃よりも下がってから加えても固まった（25℃になってから加えても、指標5を示した）。

3) cで、加熱してから、にがりを加える

水に浸した生大豆を磨砕し搾（しぼ）って得た生の豆乳を沸騰させることなく温度を上げて行き25℃、40℃、60℃、65℃、70℃、75℃にそれぞれ達したときににがりを加えてみた。その結果、完全に固まることはなかったが65℃以上で加えると、少し固まった（固まり具合の指標は、60℃以下で加えた場合1、65℃以上で加えた場合3）。

4) cで、にがりを加えてから、加熱する

水に浸した生大豆から得た豆乳に、凝固剤を加えて（この段階では豆乳は固まらない）から、3)と同じように沸騰させることなく温度を上げてみた。その結果、25℃、40℃、60℃では、全く固まらなかった（指標1）が、65℃以上（65℃、70℃、75℃）では、3)の場合ほどではないが少し固まった（指標2）。

1)～4)の結果より、豆乳は沸騰しただけでは固まらないが、生のままでにがりを入れても固まらないと言える。豆乳は、不可逆的な熱変性を起こしたタンパク質に、にがりをはたらくことによってはじめて凝固すると考えられる。

1)の豆乳ににがりを入れても固まらなかったことから、豆腐をつくる大豆タンパクは、大豆のままで熱を加えるのでは、そのあと磨砕しても、豆乳として取り出せず、おからの方に行ってしまう可能性が考えられる。また3)と4)の結果が少し違ったのは、にがり共存するか否かで、豆乳中の大豆タンパクの熱変性の仕方に何らかの違いが生じるためではないかと考えられる。

2. いろいろな凝固剤を用いた豆腐作り

1) 海水から天然にがりを取り出す試み

かつては、豆腐作りの凝固剤として海水から得られる天然にがりを用いられていたということなので、実際に海水から、天然にがりを作るかどうかを検討した。

少量のにがりの作り方は、文献には見当たらなかったもので、試行錯誤で、手作りの

方法を検討した。

海水（1999 年 8 月下旬に和歌山県白浜で採取した）600 cm³ を蒸発皿に入れ、ガスバーナーで約 7 時間加熱し、水分を蒸発させた。ここで、重さは 45.6 g になった。この時、完全に水分を蒸発させず、結晶に少し湿り気が残った状態にしておいた。これをビーカー内に設置したステンレス製の茶こしに移し、ビーカーにシャーレでふたをし、1 日放置した。

その間に、結晶は周りの水蒸気を吸収したためか濡れた状態になり、液体が結晶から 1 滴ずつ落ち、ビーカーの底にたまった。この液体が 約 3.5 cm³ 採取できた（天然にがりと思われる）。

煮つめている途中の海水は、塩辛い味であったが、得られた液をなめてみると、市販の天然にがりと同様、大変苦かった。

2) 凝固剤として海水やにがりを用いた豆腐作り

表 1. 海水とにがりの豆乳凝固作用。30 cm³ の豆乳に、海水あるいはにがりを加えたときの豆乳の固まり具合。数字は固まり具合の指標*（方法の項の 2 も参照）。

加えた量 (cm ³) 加えたもの		0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
海水		1	—	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3
2 倍濃縮海水		1	—	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3
3 倍濃縮海水	上澄み	1	—	1	2	4	4	4	3	3	2	2	2
	懸濁液	1	—	1	2	4	4	4	3	3	2	1	1
4 倍濃縮海水	上澄み	1	—	2	4	4	3	3	3	2	2	1	1
	懸濁液	1	—	1	2	4	4	4	3	3	—	—	—
5 倍濃縮海水	上澄み	1	—	2	4	4	2	2	1	1	1	1	1
	懸濁液	1	—	2	4	3	3	2	2	2	—	—	—
手作り天然にがり		4	5	4	4	—	—	—	—	—	—	—	—
市販の天然にがり		4	5	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* 固まり具合の指標： 1…豆乳のままの状態， 2…ほとんど豆乳のままだが、少しどろどろと固まっているところがある， 3…全体にどろどろとして固まっているが、シャーレにあけたとき、崩れてもとの形をとどめない， 4…豆腐として形になりかけているが、柔らかくて崩れている部分がある， 5…完全な豆腐として固まっている。なお、—は測定していないことを示す。

1)で得られた“手作りの液”（天然にがりと思われる）が、どれだけ「市販の天然にがり」に近づいているかを知るために、この液の、通常の手順（方法の項の 1 参照）における豆乳凝固作用を、市販の天然にがりと比較した。また、にがりの原料である海水そのものの豆乳凝固作用と、煮沸により海水を 2 倍、3 倍、4 倍、5 倍に濃縮し

たものの豆乳凝固作用も調べた（海水は 3 倍以上に濃縮すると固形分の析出が見られた。その場合は‘上澄み部分だけ’と‘攪拌して固形分を懸濁させたもの’のそれぞれについて調べた）。結果を表 1 に示した。

表 1 から、濃縮海水やにがりには、豆乳凝固作用が最もよく発揮される適量が存在し、加える量がそれより少なくても多くても凝固作用が十分には発揮されないこと（言い換えると豆乳凝固作用には“ピーク”が存在すること）が窺える。

海水は、濃くなるにつれて、豆乳を凝固させるのに必要な量が減少した。ただ 3 倍濃縮海水、4 倍濃縮海水、5 倍濃縮海水のいずれにもピークは現れているものの、固まり具合は 5 に達していない。これは、海水が加わることにより、豆乳自体の濃度が薄まったためと考えられる。海水をさらに濃縮して得た「手作りにがり」は、市販のにがりと同様、0.7 cm³ 加えたときに固まり具合の指標 5 を示した。この結果から見る限り、市販のものにかなり近い「天然にがり」が手作りで得られたと言える。

3) 凝固剤として純物質の無機塩を用いた豆腐づくり

無機塩のうち、市販の豆腐に使われている MgCl₂、CaSO₄、CaCl₂、CaCO₃、および、天然のにがりの成分として知られる（玉虫ほか、1971）、MgCl₂、MgSO₄、NaCl、KCl のそれぞれについて、豆乳凝固作用を調べた。結果を表 2 に示した。

表 2. 無機塩による豆乳凝固作用。30 cm³ の豆乳に無機塩を加えたときの豆乳の固まり具合。数字は固まり具合の指標（方法の項の 2 および表 1 の注*も参照）。

無機塩の濃度 (モル/リットル) 無機塩	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
MgCl ₂	5	4	3	3	3	3	—	—	—	—
CaCl ₂	5	5	3	2	2	—	—	—	—	—
CaSO ₄	5	4	4	4	—	—	—	—	—	—
CaCO ₃	1	1	1	1	1	1	—	—	—	—
NaCl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KCl	1	1	1	1	1	1	1	1	—	—
MgSO ₄	5	5	3	3	2	—	—	—	—	—

豆乳凝固作用は、CaCO₃、NaCl、KCl では見られず、MgCl₂、CaCl₂、CaSO₄、MgSO₄ で見られた。MgCl₂、CaCl₂、CaSO₄、MgSO₄ のいずれの場合も、海水、濃縮海水あるいは天然にがり（表 1 参照）と同様、豆乳凝固作用にはピークの存在が窺われた。

凝固作用は MgCl₂ で見られたが、それと同じ Cl⁻ イオンを含む KCl や NaCl では認められなかった。一方、2 価の陽イオンを含む塩には、CaCO₃ を除き、凝固作用が見られた。このことから凝固作用に与る要因として、2 価の陽イオンが疑われる。

ただ CaCO₃ は、2 価の陽イオンを含み、実際市販の豆腐にも凝固剤として使われているにもかかわらず、この実験では豆乳凝固作用が見られなかった。

CaCO₃ の溶解度は、実験に用いた他の塩に比べて桁外れに低い〔飽和水溶液の濃度 (mol/リットル) を桁でみると、MgCl₂、CaCl₂、NaCl、KCl、MgSO₄ はいずれも 10⁰、CaSO₄ は 10⁻²、CaCO₃ は 10⁻⁴ となる (玉虫 1971 等より)〕。この実験で CaCO₃ に豆乳凝固作用が見られなかった原因として、「溶解度の低さ」あるいは「この実験の中で使った CaCO₃ の濃度が豆乳の凝固には不適」「CaCO₃ は単独でははたらきにくい」等、いくつかの可能性が考えられるが、今後の課題である。

4) 凝固剤としてレモン汁や酢を用いた豆腐づくり

天然にがりや無機塩による豆乳凝固作用は、塩析作用で説明されている (川村・松原、1999) が、ここではタンパク質を変性させる物質として酸 (レモン汁や酢) に着目し、これを凝固剤に用いて豆腐が作れないかどうかを検討した。

検討は、ザル豆腐の作り方 [木綿豆腐づくり (方法の項の 1 参照) の変形; 重石をせずに、ザルに入れ、自然に水分を抜く方法] で行った。すなわち、まず通常の作り方 (方法の項の 1 参照) で作った豆乳 30 cm³ をビーカーに入れて沸騰させた。75℃まで下がったら、凝固剤を入れ、そのまま 30 分間放置した後、ビーカー内に設置したステンレス製の茶こしに移して水分を抜いた。その後、茶こし上に残っている“豆腐”の様子や、ビーカーに落ちた液体の濁り具合などを観察した。比較のため、天然にがり (市販品) でも試みた (表 3)。

表 3. レモン汁や酢による豆乳凝固作用。30 cm³ の豆乳にレモン汁や酢を加えたときの様子。

		茶こしの網に残っているものの様子と、その味	茶こしの網を通り抜けてビーカーの底にたまった液体
レモン汁	1cm ³	ほとんどかたまりなし 無味	かなり濁っている (豆乳が残っている)
	2cm ³	少しかたまりがある 少し酸っぱい味	少し濁っている
	3cm ³	かなりかたまりがある かなり酸っぱい味	透明
酢	1cm ³	柔らかそうなかたまりがある 無味	濁っている
	2cm ³	柔らかそうなかたまりがある 酢の味	濁っている
市販の天然にがり	1cm ³	かなりかたまっている 豆腐の味がして、おいしい	透明

その結果、レモン汁や酢でも豆乳が凝固することが分かった。レモン汁や酢の量を増やすと、豆乳がよりしっかりと固まるが、酸っぱさも増す。逆に量が少ないと、レモン汁や酢の味はしないが「豆腐の味」もしなかった。「豆腐の味」には、にがりの苦みが微妙に効いているのではないだろうか。

3. 凝固剤に依らずに豆乳を凝固させる実験

1) 熱に依る方法

豆乳を熱の作用だけで凝固させることができるかどうかについて検討した。

まず通常の作り方（方法の項の1参照）で得た豆乳に凝固剤を加えずに加熱・沸騰させて3倍にまで濃縮し、豆乳の固まり具合を調べた。

加熱・濃縮して行くうちに、豆乳は徐々にどろどろになって来た。3倍に濃縮した後、30分ほど放置して冷ますと、豆腐より少し柔らかそうだが、固まり具合の指標5を示すほどに完全に固まった。これには、加熱によるタンパク質の変性と、水分が減少したことの両方が関与していると思われる。

2) 放置による方法

a) 通常の作り方（方法の項の1参照）で豆乳を作ってビーカーに移し、ラップをかけて室内（25℃前後）に放置してみた（9月）。

5日後、豆腐のように完全に固まった、つーんとした腐敗臭があった。

b) 豆乳の放置実験 a)における、雑菌混入の影響を調べるために次の実験を試みた。

通常のつくり方（方法の項の1参照）で得た豆乳をビーカーに移し、アルミホイルでふたをしてから、そのまま室内（15℃前後）に放置したものと、ふたをして10分間沸騰させてから室内に放置したものを比べた（12月）。

煮沸せずに放置した豆乳は、4日後既に固まり始めているのに対し、煮沸して放置した豆乳は、11日後でも全く固まらず、豆乳のままであった。

4. いろいろな豆を用いた豆腐づくりの試み

一般に豆腐は、大豆を用いて作られる。他の豆では豆腐をつくることはできないのだろうかという疑問を持ち、いろいろな豆を用いて豆腐づくりを試みた。

大豆のほか、黒豆、落花生からは豆乳を搾(しぼ)り出すことができ、にがりを加えると固まり、豆腐をつくることができた。それ以外に試みた豆（とら豆、うずら豆、手亡豆、紫花豆、金時豆、小豆、そら豆、とうろく豆、あおえんどう豆、グリーンピース）は、全て、呉を煮る時点で固まってしまい、豆乳が搾れず、豆腐をつくるができなかった。豆腐をつくれなかった豆は、いずれもデンプン含量が高く（大豆の約2倍；星川、1980）、鍋で煮る時点で、デンプンによる糊化が起こったのだと思われる。

豆腐づくりは、小学校から高校まで、レベルに応じ興味を持って取り組める活動である。これを「海と触れあう活動」や「栽培・観察など、植物として大豆と関わる活動」から行えば、「海水や植物などの自然物が、日常口にする食品に“変身”して行くプロセスを辿る活動」となり、「食生活と自然のつながり」に目を向ける環境学習の第二段階の教材（広木、2000）として意味を持つ。また豆腐づくりを、「身近な物質の状態変化、特にゾル・ゲル変化」に目を向ける理科教材として活用することも

考えられる。

ただ、自然や科学に対する好奇心や興味を育む上では、豆腐づくりが「こういう条件でこの物質をこれだけ加えればうまく行く」というように“正解”がはじめから全て与えられている中での活動に終わるのでなく、学習者自身が発見の喜びを味わえるよう、一部であれ、試行錯誤を含む過程を体験できる問題解決的な場面を保障することが大切ではないかと考える。

文献

- 愛知生物サークル 1999. 固める前の豆腐を食べてみよう. いきいき生物のびのび実験 pp33-35. 新生出版、東京.
- 川村康文 1997. 大豆を栽培して食べる. 理科の教育 **46**(5): 58-61.
- 川村庸子・松原静郎 1999. 選択理科で取り上げる「豆腐づくり」. 理科の教育 **48**(10): 40-41.
- 木谷富雄 1997. 豆腐づくり勘どころ. 創森社、東京.
- 小島章子 1999. 海水豆腐. たのしい授業 **17**(11)[ものづくりハンドブック]: 205-205.
- 實野恒久 1958. 理科実験観察事典 pp.316-319. 保育社、大阪.
- 玉虫文一ほか 1971. 岩波理化学辞典 第3版. 岩波書店、東京.
- 津村喬 1984. 健康食とうふ. 農山漁村文化協会、東京.
- 広木正紀 2000. 環境学習で押さえない「学びを構成する三つの段階」－「総合的な学習の時間」を活かして. 理科の教育 **49**(6): 16-19.
- 星川清親 1980. 新編食用作物 pp.416-513. 養賢堂、東京.
- 山下絵美 2000. 豆腐づくりの研究－にがりづくりと豆乳凝固条件について. 京都教育大学理科教育研究室 1999 年度卒業論文（非印刷物）.
- 渡辺篤二 1959. 豆腐. 農産加工 pp.102-108. 技報堂、東京.