

# 国産大豆の豆腐への加工適性に関する試験

## (第2報) 低蛋白質大豆の絹ごし豆腐 原料としての利用方法

原 健 次

The Tofu-making Qualities of Japanese Domestic Soybeans  
Part. 2 Effective Use of a Few Domestic Soybean Cultivars  
Having Low Suitability for Silken (Kinugoshi) Tofu-making

Kenji HARA

### 緒 言

前報<sup>1)</sup>の結果、国産大豆から絹ごし豆腐を製造する場合に主に問題となったのは、製品の豆腐の硬さであり、香り、味などには問題は少なかった。

現在豆腐製造現場で行われている米国産大豆を原料とする絹ごし豆腐製造方法では、高蛋白質含有のエンレイやタチスズナリからは商品性のある硬さの絹ごし豆腐の製造は可能であるが、低蛋白質含量のタマホマレや津久井在来では、豆腐が柔らかすぎて商品性のあるものは得にくかった。

国産大豆の中でタマホマレはエンレイに次いで生産量が多く<sup>2)</sup>、また津久井在来は本県の主要品種であり、ともに県内豆腐製造業者が入手しやすい大豆であるので、これらの大豆を絹ごし豆腐の原料として利用する方法を検討した。

利用方法として主に二つの考え方がある。一つは、製造方法をまったく変えずに、豆腐への加工適性の良いエンレイやタチスズナリと配合して使用することであり、そこで豆腐の商品性を低下させない範囲の配合比率を検討した。

他の一つは、製造方法を変えてタマホマレや津久井在来からの豆腐の硬さを改善する方法で、加水率を下げ濃

い豆乳を作る方法や凝固温度を高くする方法が考えられる。しかし濃い豆乳を作った場合は、豆乳の粘度があがって絞りにくくなり、大豆中の蛋白質などの豆乳への抽出率の低下や豆腐収量の低下がおこる。また凝固温度を上げると豆腐の中に小さな気泡が発生するいわゆる“すいり”豆腐となり、絹ごし豆腐の滑らかさがなくなり商品性が低下する。また原料大豆の脱皮脱はい軸<sup>1)3)</sup>や電解還元処理<sup>4)</sup>により豆腐の硬さなどが改善されるとの報告があるが、いずれも新たに大きい装置が必要で一般的豆腐製造業者では現実的でない。そのため、新たな装置を使用しないで、しかも豆腐の品質を低下させずにその硬さを改善する凝固条件を検討した。その結果2、3の新たな知見を得たので取りまとめて報告する。

### 材料及び試験方法

#### 1. 供試材料

##### (1) 大豆の適正配合比率の検討

昭和58年当所産エンレイ、タマホマレ、津久井在来と同年栃木県産タチスズナリを用いた。

##### (2) 適正凝固条件とその現場への適応性の検討

昭和59年当所産タマホマレと津久井在来を用いた。

#### 2. 試験方法

### (1) 大豆の適正配合率の検討

前報<sup>5)</sup>の方法により各大豆品種50gから6倍加水で豆乳を採り、豆腐への加工適性の優れるエンレイとタチスズナリの豆乳に、タマホマレや津久井在来の豆乳を0~100%配合し、凝固剤のグルコン・デルタ・ラクトン(和光純薬製。以下単にGDLと言う)を0.3~0.5%添加し、前報<sup>5)</sup>に従い豆腐を製造してその硬さを測定した。

### (2) 適正凝固条件の検討

供試材料6kgを20℃で20時間水に浸漬して、水切り洗浄後18ℓの水を流しながら立型豆摺機(増幸産業製マスコロイダー)でゴを製造し、6ℓの水と共に二重煮沸釜(中牟田製作所製)に入れ、蒸気吹込みで110℃で3分間沸騰させ、直ちにろ過袋にいれ日本トーフ機械油圧絞機(栗原鉄工製)で圧搾し豆乳30ℓ(約6倍加水)を得た。凝固剤についてはGDL(商品名フジグルコン、藤沢薬品製)と硫酸カルシウム2水塩(商品名にがりこ、宇部合成工業製)の配合率、使用量を変えてそれらを150mlの水に懸濁または溶解させ、木製型箱(15×30×24cm)に入れ、70℃の豆乳10kgをその中に流し込み、1時間静置して凝固させた後、豆腐を型箱からブロックのまま取り出し流水中に1時間水晒し、75×120×60mmの大きさに切断し、さらに1時間水晒して絹ごし豆腐とした。

物性の測定は豆腐を20mm立方体に切り、レオロメーター(飯尾電機製)を用い6 cycle/min 2回運動、40mmφプランジャー、クリアランス2mmの条件で豆腐の上に薄いビニールシートを被せ圧縮し測定した。

pHは豆腐をつぶして混合乳化後、pHメーター(日立堀場製)により測定した。

### (3) 解明された凝固条件の豆腐製造業者への適応性の検討

適性凝固条件の現場への適応性は、県内の豆腐製造業者に依頼してタマホマレと津久井在来から6倍加水で豆乳を作り、豆乳をGDL及び硫酸カルシウム単独使用と解明された混合凝固剤による適正凝固条件で製造した豆腐を、豆腐製造業者の製品と共に前記試験方法2-(2)の方法により豆腐の物性、pHと成分を測定し、各豆腐の品質を比較検討した。

### (4) 測定項目と測定方法

豆腐の硬さとpH以外の原料大豆、豆乳、豆腐の測定項目と測定方法は前報<sup>5)</sup>によった。

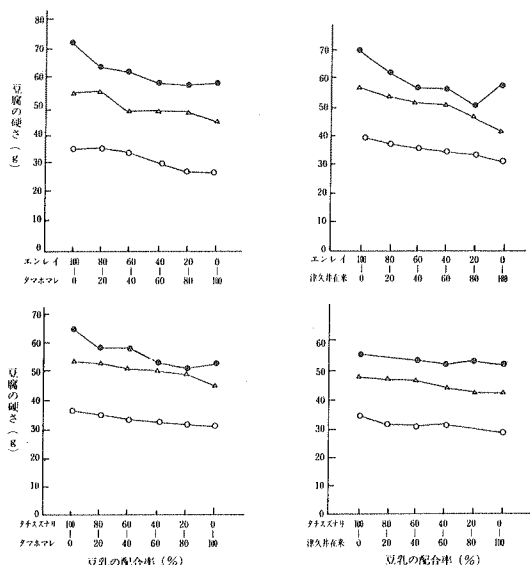
## 結果及び考察

### 1. 大豆の適正配合比率の検討

第1表 原料大豆及び豆乳の成分含量 (単位%)

品種名	原料大豆				豆乳		
	水分	蛋白	脂肪	糖分	固型分	蛋白	糖分
エンレイ	10.9	35.8	16.9	14.1	10.3	4.95	1.41
津久井在来	11.0	33.6	15.9	18.0	10.4	4.72	1.72
タマホマレ	10.6	32.8	18.2	18.0	10.3	4.47	1.62
タチスズナリ	11.0	34.0	17.1	18.3	10.2	4.75	1.46

注) 豆乳の分析結果は各大豆から5回抽出した豆乳の分析値の平均値である。



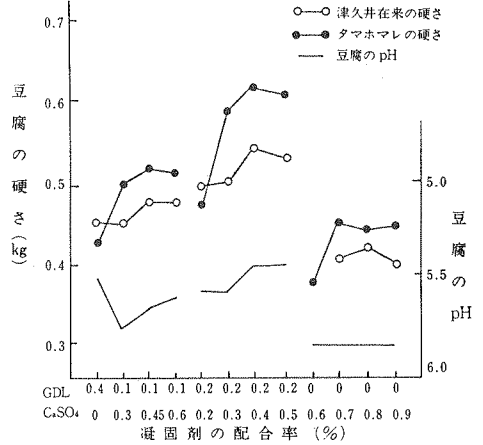
第1図 大豆二品種の豆乳の配合比と豆腐の硬さ

原料大豆及び豆乳の分析結果を第1表に示した。絹ごし豆腐への加工適性が優れるエンレイやタチスズナリから得た豆乳に、加工適性が劣るタマホマレや津久井在来からの豆乳を0~100%配合し、凝固剤GDLを0.3~0.5%添加した豆腐の硬さを第1図に示した。全GDL濃度において、エンレイやタチスズナリの豆乳に対するタマホマレや津久井在来の豆乳の配合比率が増加すると豆腐の硬さが低下した。特にエンレイはタマホマレや津久井在来との加工適性の差が大きいため、硬さの低下がタチスズナリの場合より大きかった。国産大豆で絹ごし豆腐を製造する場合の凝固剤GDLの適正使用量は0.4%である<sup>5)</sup>。この濃度における豆腐の硬さの変化をみると、エンレイやタチスズナリにタマホマレや津久井在来を40%まで配合しても、商品性のある豆腐の硬さ(破断力)50g/0.5cm<sup>2</sup>をほぼ保持することができた。タチスズナリに津久井在来を40%配合したときの(GDL濃度0.4%)豆腐の

第2表 大豆の作付け面積とシェアと

おおまかな豆腐への加工適性のランク付け					
順位	品 種 名	作付面積 (ha)	作付シェア (%)	加工適性の評価	
1	エンレイ	21,146	15.0	A	
2	タマホマレ	17,950	13.4	C	
3	フクユタカ	13,285	9.9	A	
4	シロセンナリ	6,843	5.1	C	
5	アキヨシ	6,062	4.5	B	
6	スズユタカ	5,827	4.3	A	
7	アキシロメ	4,189	3.1	B	
8	キタムスメ	4,027	3.0	C	
9	ミヤキシロメ	3,340	2.5	C	
10	ナンブシロメ	3,226	2.4	C	
11	キタコマチ	3,021	2.2	C	
14	オクシロメ	2,542	1.9	B	
17	タマヒカリ	1,860	1.4	B	
18	トヨスズ	1,858	1.4	B	
19	山白玉	1,721	1.3	C	
	津久井在来			A	
	津久井在来	50		C	

注) 豆腐への加工適性の欄中Aは加工適性が優れていることを、Bは普通、Cは劣ることをしめす。  
作付面積 (ha) と作付シェア (%) は昭和59年産大豆の調査結果で、大豆安定協会編「国産大豆利用促進流通消費等実態調査報告書(1986)」による。



第2図 凝固剤の配合比による豆腐の硬さとpHの変化

硬さは48g/0.5cm<sup>2</sup>でやや柔らかかったが商品性としては問題ないと考えられた。

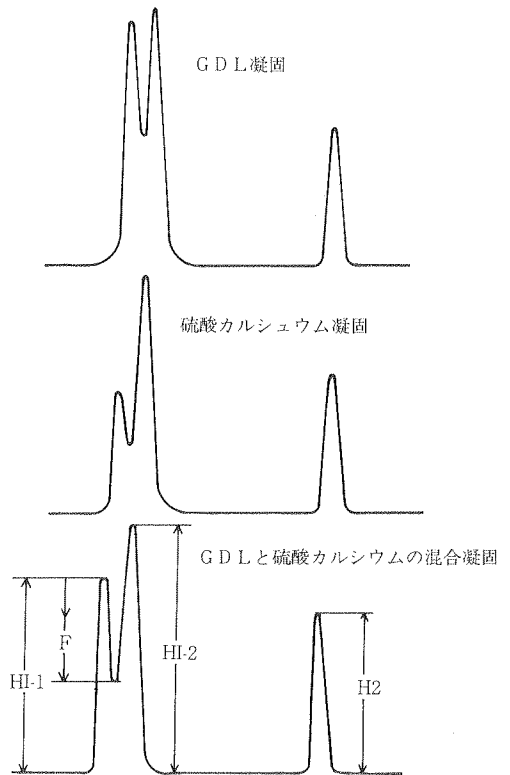
以上の結果から、加工適性の劣るタマホマレや津久井在来を加工適性の優れるエンレイやタチスズナリに40%まで配合しても商品性のある絹ごし豆腐の製造が充分可能であることが明らかになった。

最近生産量の多い品種の作付面積と作付シェア<sup>2)</sup>及び筆者らが<sup>6-7)</sup>調査した大まかな絹ごし豆腐への加工適性を第2表に示した。現在豆腐製造業者が国産大豆を原料に使用するとき、最も問題となるのは国産大豆の品種が多く、一定した品質の大豆が安定的に入手できないことである。第2表にみるようにタマホマレや津久井在来の加工適性は、3段階評価では最下位であり、中位のトヨスズなどは上位のエンレイやフクユタカなどに50%以上の配合も可能と考えられる。豆腐への加工適性に基づき各品種の配合割合の限界を明らかにし、それから生産量及び生産地域を考慮して各品種を配合すれば、大半の国産大豆は豆腐原料として安定して利用されるものと考えられる。

2. 適正凝固条件の検討

絹ごし豆腐への加工適性の劣るタマホマレや津久井在来の豆乳に、凝固剤の種類、配合比、添加量を変えて製造した豆腐の硬さとpHの測定結果を第2図に、その硬さを測定したときの凝固条件の相違によるテクスチャー測定でのチャート波形の変化を第3図に示した。

第2図の硬さは第3図のテクスチャー測定でのチャート波形のH1-2のピークの高さの値から読み取った。レオロメーターによる豆腐の硬さの測定では0.5~0.55



第3図 凝固条件によるテクスチャー測定でのチャート波形の相違(タマホマレ使用)

kg以上の硬さが、豆腐の切断、パック詰めなど製造・販売上の作業性及び、舌ざわりや歯ごたえなどの官能評価から、商品性のある硬さと判断された。

また豆腐のpHは5.4以上が好適であり、pH5.4以下は酸味が感じられて商品性が低下した。

前報<sup>5)</sup>の結果からGDL単独の場合は、0.4%が適正使用量であるので、GDL濃度0.4%凝固における豆腐の硬さとpHを示した。

硫酸カルシウム単独使用の場合、タマホマレで0.7%、津久井在来で0.8%添加凝固の豆腐の硬さが最も硬く、これ以上添加しても、両品種とも硬さの増加は見られなかった。またGDL使用量を増加させると豆腐のpHが低下したのに対して、硫酸カルシウム凝固ではpHは使用量を増加してもほとんど変化しなかった。

タマホマレ、津久井在来ともGDL及び硫酸カルシウムの単独使用では商品性のある豆腐の硬さは得られないので、両凝固剤の適正配合条件を検討した。

GDLを0.1%とし硫酸カルシウムを0.3~0.6%に変えて豆腐を製造し、硬さ、pHを測定した。その結果、硫酸カルシウム0.45%添加の豆腐が最も硬く、タマホマレは商品性のある豆腐の硬さ0.5kgを越えており、また両品種ともこのときの豆腐pHは5.6で商品性のある豆腐のpH5.4よりも高かった。

GDL使用量を0.2%とし硫酸カルシウム使用量を0.2~0.5%に変えて豆腐を製造し、硬さ、pHを測定した。その結果、硫酸カルシウム0.4%添加がもっとも硬く、両品種とも商品性のある豆腐の硬さ0.5~0.55kgを越え、pHも5.4で問題はなかった。しかし商品性のある豆腐のpH5.4以上の条件の限界であり、このことはGDL使用量0.3%において硫酸カルシウムを配合使用するとpHが5.4以下になることを示唆した。

硫酸カルシウム凝固ではタマホマレ、GDL凝固では津久井在来の豆腐が硬く、硫酸カルシウムとGDLの配合凝固ではタマホマレが津久井在来より顕著に豆腐が硬かった。これは配合凝固ではタマホマレに対する硫酸カルシウム凝固での優位性が強く現れたものと考えられる。

タマホマレや津久井在来の絹ごし豆腐への加工適性が劣る原因は、蛋白質含量が少なく、豆腐の物性(硬さ)が柔らか過ぎることによる。この物性の改善効果の面から本結果を見ると、GDLと硫酸カルシウムを1:2の割合で配合した凝固剤を豆乳に0.6%添加したときに、タマホマレ、津久井在来とも豆腐の硬さが最高で0.55kg以上あり、pHも5.4で酸味も少なく、官能評価が良く、商品として問題はなかった。従って、適正な凝固条件は、G

D Lと硫酸カルシウムを1:2の割合で配合した凝固剤を豆乳に0.6%添加し、豆乳温度70~75℃で凝固させることと判断した。

第3図のテクスチャー測定でのチャート波形は、凝固剤の種類を変えて製造した豆腐の硬さを、前記試験方法2-(2)の方法によりレオロメーターで測定した時のものである。右からH1-1はプランジャーが降下し豆腐に接して圧縮し、豆腐が壊れる時の最大の抵抗値で、F値は豆腐が壊れることにより抵抗値が下がる度合いで、食品の脆さを示している。さらにプランジャーが降下し、荒く壊れた豆腐をクリアランス2mm(つまり測定台とプランジャーの間が2mmになる)まで圧縮させたときの抵抗値がH1-2で、H2は再びプランジャーが上下して(2回そしゃく)、壊れた豆腐を再度圧縮したときの抵抗値である。

両品種ともGDL凝固の豆腐は硫酸カルシウム凝固に比べてH1-1の値が大きくH1-2と同程度であった。しかし津久井在来の一部の豆腐ではH1-1がH1-2より大きい値を示したものもあったが、H1-1の値は硬さの測定変動がH1-2よりは大きかった。F値はGDL凝固のほうが硫酸カルシウム凝固よりも大きい値を示した。硫酸カルシウム凝固の豆腐はGDL凝固のものよりH1-1とF値がH1-2の値に比べ明らかに小さかった。

このことよりH1-2の値は、同一凝固条件の豆腐の測定における繰り返しによる変動も小さく、凝固条件による豆腐のテクスチャーの違いを最も明確に反映していると結論できる。

GDLと硫酸カルシウムの配合凝固剤で凝固させた豆腐のテクスチャー測定でのチャート波形は、GDL凝固と硫酸カルシウム凝固のものとの中間的パターンであった。

一般にGDL凝固の豆腐は硬いが比較的割れやすく、硫酸カルシウム凝固豆腐は柔らかいがGDL凝固に比べ割れ難い性質を持つことが知られている。斎尾ら<sup>10)</sup>も両凝固豆腐のテクスチャー測定でのチャート波形の相違を報告しているが、測定機器及び方法の違いによる多少のパターンの差があるものの、本試験でも両凝固による豆腐のテクスチャー測定でのチャート波形の相違が認められた。

一般にGDL凝固の豆腐は硬いが比較的割れやすいこととは、テクスチャー測定でのチャート波形のH1-1とF値(脆さを示す)が大きいことに現れ、硫酸カルシウム凝固豆腐は柔らかいがGDL豆腐に比べ割れ難いことは、H1-1とF値がH1-2に比べ小さいことに現れ

ている。中山<sup>9)</sup>はGDLと硫酸カルシウムの特徴及び両凝固剤で製造した豆腐の物性の相違について、また橋詰ら<sup>4)</sup>はGDLとカルシウム塩で凝固させた豆腐の差異について報告しており、これらから両凝固剤の凝固反応はおよそ次のように進行すると考えられる。

GDL凝固の場合、水に対する溶解度は59g/100mlと高いので、豆乳に入れる前に完全に溶けている。豆乳に添加されたGDLはまだラクトンの構造であるから酸性を示さず豆乳と凝固剤を充分攪拌できる。均一に豆乳に溶解したGDLは熱と水により加水分解してグルコン酸になり、豆乳のpHが低下し、実効荷電の減少によって蛋白質分子が接近し、分子間でS-S結合、疎水結合、水素結合が起り、蛋白質が巨大分子となってネットワーク構造を作り、その中に糖分を含んだ水と脂肪球を抱き込みゲル化する。

硫酸カルシウム凝固の場合、溶解度は0.20g/100mlと低く懸濁状態で加えられる。しかも硫酸カルシウムは豆乳とすぐに反応し凝固が始まるので、豆乳に添加後の攪拌は出来ない。凝固剤の懸濁液は予め絹ごし用型箱の底に入れておき、その上から豆乳を勢いよく流し込むことにより、不溶の硫酸カルシウムが豆乳全体に分散され、一部溶けたCaイオンが蛋白質分子間にCa橋を作り、これによって引き寄せられた蛋白質分子間に、GDL凝固と同様にS-S結合等の反応がおこる。Caイオンが蛋白質と反応することにより、新たに硫酸カルシウムが溶けてCaイオンができ、蛋白質と反応してCa橋をつくりゲル化が進むので、凝固速度が遅い。

GDLと硫酸カルシウムを1:2に配合して豆乳に0.6%添加した豆腐が一番硬かった原因として次のような考え方ができる。すなわちGDLは豆腐のpHとの関係でその使用量が制限されるが、硫酸カルシウムは豆腐pHをほとんど下げないので、この凝固条件が凝固剤の必要量をみだし、かつ豆腐のpH条件も満足させることと、GDL

の凝固速度が速く硬い豆腐を作る性質と、硫酸カルシウムのCa橋による蛋白質結合の粘りのある硬さを持つ豆腐を作る性質とが、よく絡み合ったためと考えられる。

斎尾ら<sup>10)</sup>は走査型電子顕微鏡で両凝固ゲルの組織構造の差異を報告している。そこで示されるGDLの凝固速度が速くてCa橋結合がないことと、硫酸カルシウムの凝固速度が遅くCa橋結合があることの各々の特徴が、前記の豆腐のテクスチャー測定でのチャート波形の相違にも現れていると考えられる。

### 3. 適正凝固条件の豆腐製造現場への適応性の検討

製造現場での日常的な製造方法によってタマホマレと津久井在来から豆乳を作り、これにGDL0.4%添加と硫酸カルシウム0.8%添加、及び本試験で解明されたGDLと硫酸カルシウム1:2の配合凝固剤0.6%添加の3条件により、豆腐製造業者が試作した製品と同製造業者の商品の成分、pH、物性を測定した結果を第3表に示した。

適正凝固条件で凝固させると、両品種とも、凝固時間は15分以内で豆腐の切断・包装作業上の問題がなく各凝固剤単独使用による豆腐よりも物性と商品性が優れ、現場の製造業者の製品(米国産大豆ビーソン使用)と同じかそれ以上の品質であった。

GDL凝固でも津久井在来の豆腐の硬さは0.53kgと良好であったが、両品種とも凝固時間が30分とやや長く、しかも豆腐が切断・包装中に壊れやすく、商品性と作業性の点で問題があった。

硫酸カルシウム凝固では、両品種とも豆腐の物性(硬さ)は試験した凝固条件の中で最も低く、豆腐の切断・包装作業中の壊れやすさは、GDL凝固の豆腐以上で商品性のある豆腐は得られなかった。

以上のことから、GDLと硫酸カルシウム1:2の配合の凝固条件は製造現場への適応性が充分にあることが実証された。

第3表 各凝固剤による豆腐の物性と成分含量

原料大豆名	豆乳の成分(%)			豆腐の成分(%)					豆腐の物性(kg)			
	固型分	蛋白質	糖分	凝固剤	固型分	蛋白質	糖分	PH	H1-1	F	H1-2	H2
津久井在来	11.3	5.00	1.89	GDL	11.4	5.13	1.71	5.60	0.54	0.27	0.53	0.32
				配合	11.7	5.10	1.81	5.60	0.50	0.24	0.61	0.37
				CaSO <sub>4</sub>	11.6	5.04	1.79	5.95	0.38	0.16	0.46	0.27
タマホマレ	11.0	4.93	1.54	GDL	11.2	4.95	1.50	5.58	0.34	0.12	0.48	0.29
				配合	11.3	4.87	1.50	5.51	0.39	0.16	0.52	0.30
				CaSO <sub>4</sub>	11.2	4.82	1.50	5.96	0.34	0.14	0.41	0.24
ビーソン	—	—	—	*配合	10.6	4.64	1.19	5.61	0.50	0.27	0.55	0.32

\*GDLと硫酸カルシウム1:5の配合

## 謝 辞

本試験をすすめるのにあたり、大豆の加工実験の方法を御教授願うとともに、数多くの資料の提供を賜った農林水産省食品総合研究所食品理化学部長 齋尾恭子博士に厚く御礼を申し上げます。

また豆腐の現場製造試験を快くお引き受け下さった神奈川県豆腐油揚商工組合組合長 小島作治氏に感謝申し上げます。

## 摘 要

低蛋白質で絹ごし豆腐への加工適性の劣る品種（タマホマレと津久井在来）の絹ごし豆腐原料としての利用方法を検討した。

- (1) 低蛋白質で豆腐への加工適性の劣る品種を絹ごし豆腐の原料として、優れる品種に配合する場合の適正配合率は20～40%の範囲であった。
- (2) 低蛋白質で豆腐への加工適性の劣る品種単独で絹ごし豆腐を製造する条件は、GDLと硫酸カルシウム1：2の配合凝固剤を、豆乳に0.6%添加し凝固させることであった。

- (3) 解明された適正凝固条件は十分に製造現場への適応性のあることが実証された。

## 引 用 文 献

- 1) 浅野三夫ほか：日食工誌 34 P298～304 (1984)
- 2) 大豆供給安定協会(社団法人)：国産大豆利用促進流通消費等実態調査報告書 (1986)
- 3) 橋本俊郎、大木常夫：茨城県食試報 27 P18～25 (1984)
- 4) 橋詰和宗、何銀欄：日食工誌 25 P14～20(1978)
- 5) 原健次、根岸正好：神奈川農総研報 129 P58～68 (1987)
- 6) 神奈川県農業総合研究所流通技術科成績 31 大豆の加工適性の評価と加工技術の改善試験成績 (1984)
- 7) 神奈川県農業総合研究所流通技術科成績 34 転作大豆の加工技術の改善と現場実証試験成績 (1987)
- 8) 米安実、三浦芳助：日食工誌 28 P41～47(1981)
- 9) 中山修：New Food Industry 10 (10) (1968)
- 10) Saio, K：Cereal Foods world 24 (8) P342～354 (1979)

## SUMMARY

In previous paper, it was reported that a few domestic soybean cultivars (Tamahomare and Twukuizairai) were inferior in silken tofu-making, mainly because of their low protein content. The methods to use such cultivars effectively was investigated in the present paper and then the results obtained are as follows.

Silken tofu which is acceptable in market is able to be prepared (1) by mixing 20-40% inferior cultivars to superior cultivars (Enrei and Tachisuzunari) or (2) by coagulating the soybean milk made from inferior cultivars with 0.6% coagulant which consists of gulcono-delta-lactone and calcium sulfate (1:2). The methods above were realized to be enough useful for silken tofu-making.