

# 年頭雑感

鶴田鎮太郎\*

謹んで初春の御慶びを申し上げる。

本年は皆様御承知の様に日本冷凍協会の創立した大正14年9月から数えて丁度50周年に当る。半世紀と云えば随分長いものと感ずるが過ぎ去って見るとつい此の間の様な気がする。協会創立の祝典が上野精養軒で行われたのは12月だが大倉喜八郎氏が和服で祝辞を述べられたのが、今でも眼に染みついている。

その当時の協会は産業団体の指導宣伝機関としての色彩も強かったが、同時にこれを核として冷凍の研究教育の拡充を計ろうと考えられていたのも事実である。

昭和5年の全国製氷冷蔵同業者大会では、こんなことを決議されている。「欧米の冷凍応用を嚆呑みにして消化不良の状態にある我が国の斯界に於て医者の役目をする研究機関の設置が無くて無事成長を望むのは誠に無理である。何んとか考えて見てくれ」と云う訳であった。その当時の日本冷凍協会の性格から見て協会に対する皮肉とも取れないことはないが、実際はもっと真剣に勉強して我々を指導してくれと云う意味であったと思う。

勿論協会としても学校こそ建てられなかったが、幹部技術者は卒先して講習会、講演会等で業界技術者の指導に専念してきた。特に高圧ガス保安協会の国家試験を始めとして、冷凍空調技士、食品冷凍技士の資格試験を対象とした講習会は勿論のこと、一般的な講演会、見学会等が始まって以来は各講師を担当される方々は個人としての職責もあるので中々容易なことではなかったと思う。然しながら講習会では解決しにくい根本的な問題がある。冷凍応用の範囲は冷凍業を始めとして最近凡ゆる分野まで拡大されてきている。講習会を開いても聴講生の3割位は冷凍業以外の業種に勤務されておられる人々で、漸次その割合は増加している。従って講義内容も特殊な応用面のみに限れば極くわづかな聴講生を対象とすることになるので、業種別に相違したものよりも、誰にも必要と思われる基本的なもの或は聴講生の多くを占める冷凍業関係に重点を置き勝ちになる。それも前記の様事情で突込んだ処迄はいい。

これは学校の冷感に関する講義でも同様であるし、我が国全体の学問の趨勢も同様であるらしい。

先般日本学術会議の25周年記念講演会が催されたが、その際前ノースカロライナ大学副学長ハリケリー氏の講演の中に日本の学者は基礎的な分野では世界のリーダーシップを採っているが、応用分野では必ず

しもそうは云えない。我々は国際的な協力を惜んではならないと云われていることでも判る。

此等は一般的に云って冷凍の分野でも基礎的なものより応用的な面の研究者が少ないと云うことになる。応用面の研究者は各企業の研究機関につながっている場合が多いから煎じつめると各企業の研究費が他国と比較して少ないのではないかと考えたい。

冷凍の基礎的分野では前述の様に一応世界的水準に到達している様に思われる。従って今後は如何にして応用分野を開拓して行くかと云うことに重点を移してゆかねばならない。最近必ずしも新しい分野ではないかも知れないが、液体窒素を使った低温粉碎装置、古自動車の解体作業、付着塗料の除去装置、LNG利用の冷蔵倉庫、汚泥処理の脱水装置等が新聞紙上を賑わしている。通産省でも昨年以來研究対象として低温破碎技術を取り上げている。此んなことで応用方面は種々雑多ではあるが、協会としては出来る出来ないは別として何等かのアイディアを出して各業界の為に協力出来る様にしたいものである。基本的なことだけで応用面の比較的少ない講習会や講演会も後進の指導と云う面からは必要欠くべからざるものであるが、一面一応基本的な面を修得済みの多くの冷術者並びに法人会員として協会を援助されている会社の希望されるものは結局直接には応用面の問題であると思う。応用面は非常に範囲が広いから仮りに寄稿されるとすればその読者層は薄いことになる。然し各方面の此等を積重ねることにより飽きられない協会として存在価値を今日以上に高めることになると思う。勿論此等のアイディアは各社の秘密事項でもある場合が多いから簡単には発表出来ないこともあるかも知れないが、物によっては特許公報とは別の立場で発表が出来れば又別個のアイディアの基礎となるかも知れない。天から降ってきた様な着想はそんなにあるものではない。此等を考えて今迄の冷凍誌でも色々な構想を提供してくれた。我々もどうしたらよいかと考えた時偶然に30年位前にそのヒントが記載されているべきだろう。冷凍と云うものが世の中から無くなれば別であるが、今後の発展性から見れば50周年が更に100周年を迎えることになると思う。後の半世紀がこれから始まるのだと考えると若い方々の御自愛と御健闘を期待して止まない次第である。

\* 日本冷凍協会会長

# 研究論文 生なまこの凍結による貯蔵

Freezing Preservation of Fresh Sea Cucumber

(*Stichopus japonicus Selenka*)

田中和夫・劉正博\*

Kazuo TANAKA and LIU Jen Bor\*

## Summary

Two kinds of sea cucumber (*Stichopus japonicus Selenka*) of red and blue were vacuum-frozen accompanying about 30% of dehydration of its original weight, stored at  $-40^{\circ}\text{C}$  of air temperature for 3 months, and then thawed at  $18\sim 26^{\circ}\text{C}$  of air temperature at the interval of 1 month of storage.

It was found out that the both sea cucumbers had not any freezer-burn on the surface and the tissue had a firmness wholly as well as retained fully a crispness without any break-down of the muscle.

In reference to the experiment, another one under the condition that the sea cucumbers frozen with ordinary freezing method, stored at  $-40^{\circ}\text{C}$  of air temperature for 3 months, and partially dehydrated by the vacuum freeze-dryer at over 40% of its original weight immediately before thawing and then thawed at  $18\sim 26^{\circ}\text{C}$  of air temperature was carried out, but this method was not good because the crispness of muscle was quite lost though the tissue was not spread flaccidly and the freezer-burn on the surface not occurred.

Through these experimental results, it was concluded that the keeping quality of fresh sea cucumber was obtained by freezing preservation under the condition of vacuum-frozen accompanying over 30% of dehydration of its original weight, stored at below  $-30^{\circ}\text{C}$  of air temperature for some periods, and then thawed at room air or to immerse in fresh water. In fresh water defrosting, the thawing time is quite quicker than that of room air defrosting, but the rehydration of sea cucumber cannot be expected.

Ice-glazing to the surface of sea cucumber after being frozen is not necessary because of its poor fat content.

## 要約

1. 赤と青の二種類の鮮度の良い生なまこの腹を裂き、内ぞうと腹水を除いて真空凍結し、そのさい肉質中の水分が30%ほど脱水された状態にし、アイス・グレーズをかけずに空気温度  $-40^{\circ}\text{C}$  の下に3カ月間凍蔵し、その間1カ月ごとに引出して  $18\sim 26^{\circ}\text{C}$  の室温で1~2時間静止空気解凍し、凍結焼けおよび全体の縮り工合とこりこり性を中心に品質を判定したところ、いずれも凍結焼けは起らず、全体に縮ってこりこり性も失われなことを知った。

2. 参考のために赤と青の二種類の鮮度の良い生なまこの腹を裂き、内ぞうと腹水を除いて半送風凍結し、アイス・グレーズをかけずに空気温度  $-40^{\circ}\text{C}$  の下に3カ月間凍蔵した後、真空凍結乾燥機(棚板は加

熱も冷却もせずそのまま放置)により肉質中の水分を40%以上脱水し、直ちに  $18\sim 26^{\circ}\text{C}$  の室温で1時間静止空気解凍し、凍結焼けおよび全体の縮り工合とこりこり性を中心に品質を判定したところ、いずれも凍結焼けは起らず、全体に縮ってはいるがこりこり性は失われることを知った。

3. かくして生なまこを凍結して貯蔵する場合には、鮮度の良いものを選び、内ぞうと腹水を除いて真空凍結し、そのさい肉質中の水分を30%以上脱水し、別にアイス・グレーズをかけることなく  $-30^{\circ}\text{C}$  以下の空気温度で凍蔵し、室温で静止空気解凍せしめれば凍結焼けは起らず、全体に縮ってこりこり性も失われず、立派に商品価値を維持できるようである。なおこ

\* 東京水産大学 Tokyo University of Fisheries

のようにすると生なまこの目方はもとのものより30%以上減ったものになる。たとえそれを水解凍しても解凍時間が速くなるだけで、吸水はしない。ただ凍結焼けは起らず、全体に締ってこりこり性も失われない点は空気解凍と同じである。結局重量の損失は止むを得ないことと思われる。

## 結 言

田中・松田<sup>9)</sup>は先に真空凍結という凍結方法を紹介し、まあじを使って凍結時間を求める計算式を作成した。しかしその緒言と結言において、この方法は多大な水分蒸発による目減りを伴う欠点があり、いずれそのまま真空凍結乾燥に持って行くようなもの予備凍結か、あるいは幾分脱水してからでない品質良く凍結し得ないような特殊なものにしか使用できぬかも知れないといっている。さらに松田<sup>20)</sup>は寒天ゲルおよびすり身の真空凍結および真空凍結乾燥を行なって、それらの時間を求める理論式を誘導している。磯貝・宋<sup>9)</sup>はわかめめかぶとすけそうだらを用い、これらを真空凍結し、そのまま真空凍結乾燥する場合の時間を求める計算式を作成し、真空凍結はわかめめかぶを真空凍結乾燥する場合の予備凍結としては好適であると記している。松田<sup>9)</sup>はすけそうだらを真空凍結し、そのさい15%程度目減りさせて水分量を80%まで減少させたものは-15°Cというかなり高温で凍蔵しても3カ月間はスポンジ化を生じなかったことを見、真空凍結のような多大な水分蒸発による目減りを伴う方法でも実用の可能性があることを示した。すなわち幾分脱水してからでない品質良く凍結し得ないような特殊なもの例を初めて具体的に見出したことになる。さらに田中・松田<sup>9)</sup>は生うにを真空凍結し、そのさい9~18%ほど脱水したものは身の流れを起さないが、その後アイス・グレーズをかけない場合には凍結焼けが著しく発達することを見、この程度の脱水であればむしろ生うにを普通の方法で凍結し、清水でアイス・グレーズをかけて凍蔵し、解凍する直前に真空凍結乾燥(棚板は加熱も冷却もせずそのまま放置)によりまずアイス・グレーズをとばし、ついで肉質中の水分を5~20%ほど脱水した後5°C以下の低温静止空気中で解凍すれば、凍結焼けも身の流れも起らず立派に維持できることを知った。そしてその方が真空凍結機もしくは真空凍結乾燥機という特殊な機械を消費地に置くだけで生産地には必要とせず、簡単であると述べている。つまり生うにの凍結は純粋な意味の真空凍結ではないのである。かくしてこれまで真空凍結という凍

結方法が実用になりそうなのは、真空凍結乾燥の予備凍結を別として文献に表われた限りでは、すけそうだららの凍結によるスポンジ化防止の例しかない。

これまで幾分脱水してから凍結する方法は脱水凍結 dehydro-freezing と呼ばれ、主として野菜、果実特(いわゆる シュガリング をしないでもよい)に対して行われており、外国の文献<sup>7)8)9)10)11)12)</sup>には多数見えている。これらの場合の脱水量はもとの重量の33~50%に及ぶのが普通であり、その後凍結するが、用途は加工用や業務用であって小売用はないようである。つまり外国でいっている脱水凍結は水産物ではなく農産物が主であり、しかも脱水量が極めて多いのが特徴である。

著者らは水産物の脱水凍結それも外国の例にあるような脱水量の多大なものとして、生なまこを取上げた。生なまこは日本では内ぞう(その中の腸管に食塩を加えて塩辛にしたものが有名な「このわた」である)と腹水を除き、薄く輪切りにして食酢に漬け、きゅうりと共に生食するのが一般である。そのさい生なまこは全体に締って食べた時にこりこりした歯応えを感じしめるものでなければならぬ。しかるに生なまこを普通に凍結し、凍蔵し、解凍すると、肉質が内部崩壊するため、これまで全体にびびって粘りが出、こりこり性はまったく失われ、著しく食味を欠いたものになる<sup>13)</sup>。もっとも種類によっては凍結して貯蔵できるものもあるが、一般にはこれまで生なまこは凍結によって貯蔵することができないものとされて来た。

著者らはそれを可能にする一つの方法としてまずブライニング処理を施してみた。すなわち生なまこを凍結前に9.1%食塩水に1時間浸漬してから凍結した。もっとも普通のブライニング処理は3~5%食塩水に10~15分間浸漬するのであるが、生なまこは後述のごとく灰分が非常に多いので、食塩を侵入させるためにはこの程度大きくしなければならぬと思ったのである。しかしそうした生なまこも凍結し、凍蔵し、解凍した後は全体にだらりと伸び、こりこり性はまったく失われてためであった。同じく凍結生なまこを解凍する時に3, 5, 10%食塩水中で行ってみたが、やはりためであった。一般にブライニング処理はむき身がきとかむき身ほやのごとく凍結した場合にドリップ量の極めて多いもののドリップ軽減に有効であるといわれる。つまり生なまこのようにドリップは出ないが、肉質が内部崩壊するようなものには、凍結の前後を問わずブライニング処理を施しても利かないようである。

そこでつぎに著者らは凍結によって生なまこの肉質が内部崩壊する原因はすけそうだららのスポンジ化と同じく、水分の過剰なる点にあるものと推測し、脱水凍結をすればよく、それには真空凍結が最適であろうと考えたわけである。またなまこの製品に「いりこ」というものがあるが、中華料理に使われる。これは生なまこの内ぞうと腹水を除き、煮熟し、乾燥して仕上げた乾燥品(煮乾品)である。それを中華料理で用いる時には水に浸けて再水和させ、細かく切って再煮熟する。生なまこを真空凍結する場合にもつと水分を減らしたものは、この「いりこ」として使用することができ、細かく切って熱湯に浸漬すればそのまま解凍、再水和、煮熟の三操作が一度にできて便利と思われる。もっともそうすると生なまこの真空凍結乾燥品と変わらなくなるかも知れない。とに角生なまこの真空凍結品はそのまま生で食べる場合も、「いりこ」として煮熟して食べる場合も共に有用であろうと思われる。

これまで生なまこの化学的、物理化学的、水産製造学的な研究を熱心に進められたのは谷川英一氏である。同氏はその結果なまこの缶詰を作られた。著者らのやろうとしているのは、生なまこの冷凍であり、それには同氏らの研究成果<sup>14)15)16)17)</sup>に負うところ多大なものがある。

## 実 験

実験に使った生なまこ(学名 *Stichopus japonicus Selenka*, 英名 sea cucumber) は赤なまこと青なまこの二種類であり、大小いろいろであるが鮮度の良いものである。まず腹の中央部を横に切り、内ぞうと腹水を除いた。その間のまとめて測った重量と歩留りは表1のごとくである。以後内ぞうと腹水を除いたものを生なまこということにする。日本食品標準成分表にのっている生なまこの成分は表2のごとくである。ただ実際に用いた生なまこの水分は赤なまこ94.6%, 青なまこ95.3%であって、表2の値よりも水分が多い。なお pH はいずれも 7.28 であった。

真空凍結および真空凍結乾燥は共和真空技術会社製 R L 50 NA 形実験用真空凍結乾燥機を使った。これは 1.5 kW の R 12 冷凍機、0.75 kW、500 l/min の油回転真空ポンプ、1.25 kW の加熱器を持ち、真空室内の絶対圧力を真空凍結中は 4~0.4 mmHg、真空凍結乾燥に移ってからは最大 0.01 mmHg にすることができる。棚板を加熱することも冷却することも可能であるが、本実験では加熱も冷却もせずそのまま放置した。普通の凍結は 中野冷凍機会社製 半送風凍結装置

表1 生なまこの内ぞうと腹水を除いた後の歩留り

種 類	原 重 量 g	内ぞうと腹水除 去後の重量 g	生なまこの 歩留り %
赤なまこ	3875	1990	51.4
青なまこ	4170	2550	61.2

注 内ぞうと腹水の歩留りは、赤なまこ 48.6%, 青なまこ 38.8% であり、内ぞうはそのうちの四半分、「このわた」となる腸管はさらにその半分といわれるので、腸管の歩留りは赤なまこ 6.1%, 青なまこ 4.9% になる。

表2 生なまこの成分

種 類	水 分 %	脂 質 %	たん白質 %	炭水化物		灰 分 %
				糖 質 %	纖 維 %	
生なまこ	91.6	0.1	2.5	1.5	0.0	4.3

注 三訂日本食品標準成分表(昭38.11)による。

(セミエア・プラスチック装置)を用いた。冷媒は R 12 で、被凍結物をのせる冷却棚の配管中でも蒸発する。空気の温度 -30°C、速度 1 m/s である。

実験は凍結に真空凍結を用いて脱水と凍結を一度にする方法および対照として半送風凍結を行った。ついで真空凍結、半送風凍結いずれもアイス・グレーズをかけることなく、空気温度 -40°C の下に3カ月間凍蔵し、その間 0, 1, 2, 3 カ月目に引出して 18~26°C の室温で 1~2 時間静止空気解凍し、その時の生なまこの表面の凍結焼けおよび全体の締り具合、それが悪くなると生ずる粘性と食べた時のこりこり性を官能的に判定した。ここでアイス・グレーズをかけた理由は、真空凍結が主体であるからいずれ相当に脱水つまり乾燥することおよび表2から脂質が極めて少ないことの双方により凍結焼けは起るまいと思ったからである。つぎに凍蔵の空気温度が -40°C と非常に低い理由は、やはり真空凍結が主体であるから脱水されることおよび表2から灰分が極めて多いので凍結点が低く、凍結率が少ないことの双方により相当な低温に置かなければ十分に凍っているとはいえずと考えたからである。現に凍結生なまこを空気温度 -20°C に置くと全体に軟かくて曲げることができ、それほど凍ってはいないようであった。空気温度 -40°C では全体に非常に硬く曲げることができず、ほぼ完全に凍っていた。この中間に空気温度 -30°C があるが、著者らの研究室にはそのような冷蔵庫がないので実験を行うことはできなかったが、多分これでもよいと想像される。さらに静止空気解凍する場合の空気温度は初め 0~7°C の低温空気中で 16~24 時間かけて行ったが、その後 18~26°C の室温中で 1~2 時

間かけて行っても品質の上にそれほどの差はないことがわかったので、解凍時間短縮のために後者を用いた。この凍結生うには 5°C 以下の低温静止空气中で解凍する必要があるといわれるのは異っている。なお半送風凍結したもの一部は 3 カ月後解凍直前

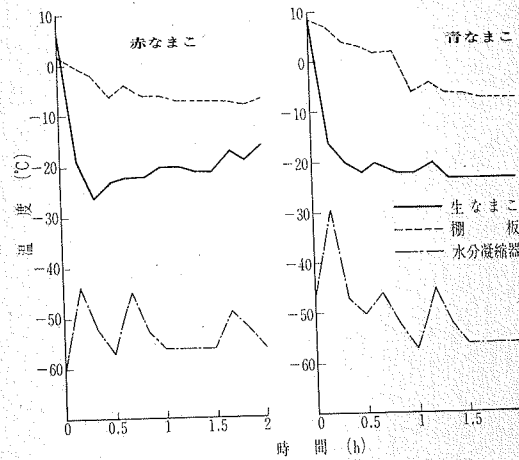


図1 生なまこの真空凍結

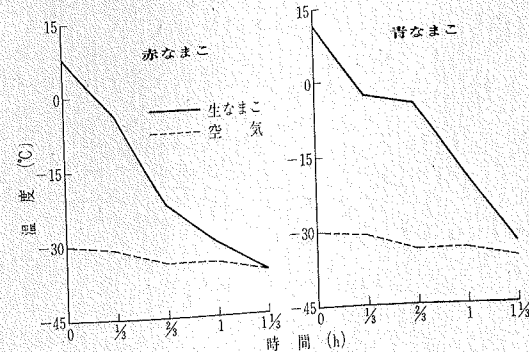


図2 生なまこの半送風凍結

に真空凍結乾燥により凍結状態のまま脱水し、解凍して官能試験に供した。もちろん真空凍結したり、半送風凍結したりする場合には、試料の中心部に温度計を挿入して一定時間ごとに品温を測定し、またその前後には重量を測って脱水量と目減り量を出した。これら凍結生なまこを解凍した時に、いわゆるドロップは一滴も出なかった。生なまこを真空凍結および半送風

表3 生なまこの真空凍結

種類	真空凍結時間 h	重量			脱水量 %	終品温 °C	貯蔵期間 m	官能判定		
		凍結前 g	凍結後 g	差 g				凍結焼け	縮り工合	こりこり性
赤なまこ	0.5	500	390	110	22.00	-23.0	0	なし	縮る	あり
							1	なし	幾分延びて粘る	幾分消失
							2	なし	幾分延びて粘る	幾分消失
	1	570	435	135	23.68	-21.0	0	なし	縮る	あり
							1	なし	幾分延びて粘る	幾分消失
							2	なし	幾分延びて粘る	幾分消失
2	535	370	165	30.84	-19.0	0	なし	縮る	あり	
						1	なし	縮る	あり	
						2	なし	縮る	あり	
青なまこ	0.5	720	595	125	17.22	-22.0	0	なし	縮る	あり
							1	なし	幾分延びて粘る	幾分消失
							2	なし	幾分延びて粘る	幾分消失
	1	570	430	140	24.56	-22.0	0	なし	縮る	あり
							1	なし	縮る	あり
							2	なし	幾分延びて粘る	幾分消失
2	605	425	180	29.75	-23.0	0	なし	縮る	あり	
						1	なし	縮る	あり	
						2	なし	縮る	あり	

注 真空凍結機の中には生なまこが15匹ずつ30匹はいており、表中の重量はすべてそのうちの5匹の合計重量である。

表4 生なまこの半送風凍結

種類	半送風凍結時間 h	重量			目減り量 %	終品温 °C	貯蔵期間 m	官能判定		
		凍結前 g	凍結後 g	差 g				凍結焼け	縮り工合	こりこり性
赤なまこ	1 1/3	180	175	5	2.78	-36.0	0	なし	幾分延びて粘る	幾分消失
							1	なし	幾分延びて粘る	幾分消失
							2	なし	延びて粘る	なし
青なまこ	1 1/3	735	730	5	0.68	-33.0	0	なし	幾分延びて粘る	幾分消失
							1	なし	幾分延びて粘る	幾分消失
							2	なし	延びて粘る	なし

注 半送風凍結装置の中には生なまこが5匹ずつ10匹はいており、表中の重量はすべてそのうちの5匹の合計重量である。

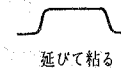
表5 生なまこを半送風凍結し、空気温度 -40°C の下に 3 カ月間凍蔵し、解凍直前に真空凍結乾燥により水分を蒸発せしめた場合

種類	真空凍結乾燥時間 h	重量			脱水量 %	官能判定		
		乾燥前 g	乾燥後 g	差 g		凍結焼け	縮り工合	こりこり性
赤なまこ	0.5	64	53	11	17.19	—	—	—
			48.5	15.5	24.22	—	—	—
			41	23	35.94	—	—	—
			35.5	28.5	44.53	—	—	—
青なまこ	1.1	111	94	17	15.32	—	—	—
			89.5	21.5	19.37	—	—	—
			78	33	29.73	—	—	—
			69	42	37.84	—	—	—

注 重量はすべて1匹のものである。

凍結した場合の凍結曲線を図1と2に示す。生なまこを真空凍結および半送風凍結した場合の脱水量または目減り量と表面の凍結焼けおよび全体の縮りと粘り工合およびこりこり性を表3と4、生なまこを半送風凍結し、3カ月間凍蔵した後解凍直前に真空凍結乾燥により水分を蒸発させた場合のそれを表5に示す。

ここに全体の縮り工合というのは、生なまこを平板上に置いた時に下図のようにになっている状態を指す。またこりこり性というのは生なまこを食べた時の歯応えを意味する。もちろん良いものは全体に縮り、こりこりしていなければならない。



考 察

図1、2および表3、4を見ると、赤なまこ、青なまこいずれも30%以上の脱水を伴って真空凍結し、アイス・グレーズをかけずに空気温度 -40°C の下に凍蔵した場合は、3カ月経っても凍結焼けは起らず、全体に硬く縮り、こりこり性も失われず、立派に商品価値を維持しているが、半送風凍結し、アイス・グレーズをかけずに空気温度 -40°C の下に凍蔵した場合は3カ月経っても凍結焼けは起らないが、凍結直後から幾分全体に延びて粘り、こりこり性も失われ、貯蔵期間が長くなるとさらにそれがひどくなることわかる。つまり生なまこが全体に硬く縮りこりこり性を失わないように凍結するには、凍結前もしくは中に脱水しなければならぬといえる。さらに表3によると同じく真空凍結した生なまこでも、脱水量が20%、25%程度では不足で、どうしても30%以上脱水する必要があるようである。しかし生なまこを真空凍結によって品温を -20°C 以下まで下げただけならば15~20%の脱水で充分であり、30%以上の脱水になると品温はほぼ最終のまま真空凍結乾燥が行われていることになる。つぎに表5を見ると、赤なまこ、青なまこいずれも半送風凍結(要するに普通の凍結)し、アイス・グレーズをかけずに空気温度 -40°C の下に3カ月間凍蔵し、解凍直前に真空凍結乾燥により40%以上(要するに30%以上)脱水した場合は、凍結焼けはせず、全体に延びて粘ることもないが、こりこり性が失われてだめなことがわかる。この事実は前述の表4より容易に推測することができる。つまり生なまこが全体にだらりと延びて粘るようになってしまうと、こりこり性が失われてしまうことはいずれも肉質の内部崩壊のためには相違ないが、少し違う原因もあるように思われる。かくして、生なまこを凍結によって貯

蔵する場合には、かならず凍結前もしくは中に30%以上脱水する必要があり、凍結後の解凍直前にそれだけ脱水してもすでにこりこり性が失われているので無意味であることが確実になった。この点も生うにの凍結による身の流れ防止<sup>11)</sup>の場合とは異っている。

ただこのようにすると生なまこの目方が減り、もとの重量より30%以上少なくなってしまうが、これは止むを得ない。一応それが防げるかと考えて水解凍を施してみた。すなわち真空凍結して30%以上脱水させた凍結赤、青岡なまこを水温 20°C の静止水中に浸漬したところ 20 分で解凍し、全体に硬く締り、こりこり性も失われないが、この程度の時間では吸水せず、凍結前の重量に復帰しなかった。こうなると真空凍結した生なまこは空気解凍しても水解凍しても品質は同じでただ水解凍の方が時間が速いだけ有利といえるであろう。

松田<sup>12)</sup>はこのように脱水された場合の試料の初水分、終水分、脱水量の間の関係式をあげている。すなわち生なまこの始めの重量を  $W_a$  kg, その中の水分の重量を  $W_{wa}$  kg とすると、初水分量は  $X_a = \frac{W_{wa}}{W_a}$  kg/kg, 終りの重量を  $W_b$  kg, その中の水分の重量を  $W_{wb}$  kg とすると、終水分量は  $X_b = \frac{W_{wb}}{W_b}$  kg/kg, 真空凍結によって失われるのは水分だけであり、その重量を  $w = W_a - W_b = W_{wa} - W_{wb}$  kg とすると、脱水量(歩減りとしてもよい)は  $l = \frac{w}{W_a}$  kg/kg であり

$$l = \frac{X_a - X_b}{1 - X_b}$$

ゆえに  $X_b = (1-l) + l$  または  $X_b = \frac{X_a - l}{1-l}$  となる。

なおこのさいの歩留りを  $b = \frac{W_b}{W_a}$  kg/kg とすると

$$b + l = 1 \text{ ゆえに } l = 1 - b \text{ または } b = 1 - l \text{ であるから}$$

$$b = \frac{1 - X_a}{1 - X_b}$$

ゆえに  $X_a = 1 - (1 - X_b)b$  または  $X_b = \frac{X_a + b - 1}{b}$  となる。

先にあげた文献の一つ<sup>12)</sup>の 348 ページに、初水分量があたえられ、50%, 60%, 70% 脱水した場合の終水分量の表がかかかってあり、それにならって脱水量  $l$  kg/kg を用いて終水分量  $X_b$  kg/kg を求める式により、初水分量があたえられ、30%, 40%, 50% 脱水した場合の終水分量を計算すると表 6 のごとくである。また同文献 349 ページには、上記の関係を簡単に求めるノモグラフがのっており、有益と思われるので図 3 に示しておく。

これで生なまこが脱水された後の水分量は判明した

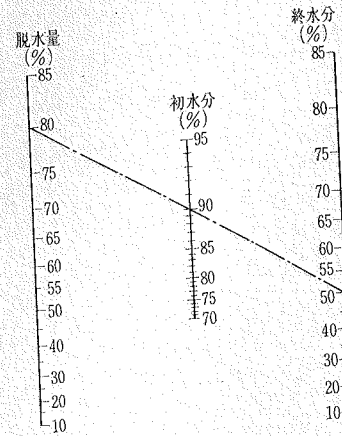


図 3 初水分、脱水量、終水分の関係を求めるノモグラフ (Freezing Preservation of Foods Vol. 3 より)

表 6 初水分量があたえられ、30%、40%、50% 脱水した場合の終水分量

初水分量 %	終水分量		
	30%脱水 %	40%脱水 %	50%脱水 %
95	92.9	91.7	90.0
90	85.7	83.3	80.0
85	78.6	75.0	70.0
80	71.4	66.7	60.0
75	64.3	58.3	50.0
70	57.1	50.0	40.0
65	50.0	41.7	30.0
60	42.9	33.3	20.0
55	35.7	25.0	10.0
50	28.6	17.7	0.0

が、その他の成分の割合がどうなるかという問題が残る。代表として脂質を取ってみる。前述のごとく真空凍結によって失われるのは水分だけで、その他の成分の重量には変わりがないのであるから、脂質の重量を  $W_f$  kg とすると、初脂質量は  $Y_a = \frac{W_f}{W_a}$  kg/kg, 終

脂質量は  $Y_b = \frac{W_f}{W_b}$  kg/kg であり

$$\frac{W_b}{W_a} = \frac{W_a - w}{W_a} = 1 - \frac{w}{W_a} = 1 - l$$

ゆえに  $W_b = W_a(1-l)$

なる関係を用いて

$$Y_b = \frac{W_f}{W_b} = \frac{W_f}{W_a(1-l)} = \frac{W_f}{W_a} \cdot \frac{1}{1-l} = \frac{Y_a}{1-l}$$

つまり  $Y_b = \frac{Y_a}{1-l}$

となる。なお歩留りを用いると

$$Y_b = \frac{Y_a}{b}$$

となる。このような関係は  $Y_a$  kg/kg をそれぞれ初たん白質、初炭水化物、初灰分とすれば、それら成分についての  $Y_b$  kg/kg が求まる。ここでは脱水量  $l$  kg/kg を用いた式により、表 2 の生なまこの成分が初成

表 7 表 2 の生なまこの成分が初成分量としてあたえられ、30%、40%、50% 脱水した場合の終成分量

種類	脱水量 %	水分 %	脂質 %	たん白質 %	炭水化物		灰分 %
					糖質 %	繊維 %	
生なまこ	0	91.6	0.1	2.5	1.5	0.0	4.3
	30	88.00	0.14	3.57	2.14	0.00	6.15
	40	86.00	0.17	4.17	2.50	0.00	7.17
	50	83.2	0.2	5.0	3.0	0.0	8.6

注 脱水量 0% は表 2 と同じであるが、比較に便利のために記した。

分量としてあたえられ、30%、40%、50% 脱水した場合のそれぞれの終成分量を計算して示すと表 7 のごとくである。

### 結 言

生なまこを凍結して長期間貯蔵しても凍結焼けを起さず、全体に締り、こりこり性を失わないようにするためには、つぎのようにする必要がある。

1. 生きているようなできるだけ鮮度の良いものを選ぶ。
2. 低温、清潔な環境下で、細心の注意をもって迅速、丁寧に内そうと腹水を除く。
3. 真空凍結機により30%以上の脱水を伴って品温が -20°C 以下になるまで凍結する。
4. 別にアイス・グレーズをかける必要はない。
5. -30°C 以下の低温、± 2°C 以下の少変動の空気の下に凍蔵する。
6. 室温の空気もしくは清水中で解凍する。清水の方が速く解凍するが、吸水はしない。従って重量がもとのものより30%以上減ることになるが、これは止むを得ない。
7. 解凍したら直ちに消費する。解凍後は室温で2時間、5°C の電気冷蔵庫中でも8時間以内しか保てず、これ以上放置したならば肉質と皮がはがれてしまうことを銘記すべきである。

### 謝 意

本実験を行うに当り、生なまこの入手その他に関して栄光食品株式会社代表取締役福長正夫氏に多大のお世話になった。ここに記して厚く感謝の意を表する。

### 文 献

- 1) 田中和夫・松田由美子：まあじの真空凍結による凍結時間について、冷凍、Vol. 45, No. 507 3~12 (1970.1).

- 2) 松田由美子：寒天ゲルの凍結および真空凍結乾燥に要する時間、冷凍、Vol. 44, No. 506, 1~15 (1969.12).
- 3) 松田由美子：すり身の凍結および真空凍結乾燥に要する時間、冷凍、Vol. 47, No. 531, 3~14 (1972.1).
- 4) 磯貝宰・宋大鎮：わかめめかぶとすけそうだら の凍結および真空凍結乾燥に要する時間、冷凍、Vol. 46, No. 526, 8~16 (1971.8).
- 5) 松田由美子：スケトウダラの凍結による貯蔵、日水誌、Vol. 35, No. 9, 891~896 (1969.9).
- 6) 田中和夫・松田由美子：生うにの凍結による貯蔵、冷凍、Vol. 45, No. 516, 17~23 (1970.10).
- 7) M. J. Copley : The Outlook for Freezing and Dehydrofreezing in Food preservation Ref. Eng., Vol. 66, No. 2, 48~51, 76~79 (1958.2).
- 8) M. E. Lazar, E. O. Chapin and G. M. Smith : Dehydrofrozen Apples : Resent Development in Processing Methods, Food Tech., Vol. 15, No. 1, 32~36 (1961.1).
- 9) H. J. Neumann, A. D. Shepherd, E. Lowe, W. C. Dietrich, D. G. Guadagni, J. H. Harris and E. L. Durkee : Effect of Drying Temperature on Initial Quality and Storage Stability of Dehydrofrozen Peas, Food Tech., Vol. 19, No. 11, 125~128 (1965.11).
- 10) R. L. La Belle and J. C. Moyer : Dehydrofreezing Red Tart Cherries, Food Tech., Vol. 20, No. 10, 105~108 (1966.10).
- 11) J. D. Ponting, G. G. Watters, R. L. Forrey R. Jackson and W. L. Stanley : Osmotic Dehydration of Fruits, Food Tech., Vol. 20, No. 10, 125~128 (1966.10). この10)と11)は松田由美子が、レッドタートチェリーの脱水凍結、果実の浸透脱水と題して、冷凍、Vol. 42, No. 475, 63~68, 68~73 (1967.5) に訳している。
- 12) M. E. Lazar : Dehydrofreezing of Fruits and Vegetables, The Freezing Preservation of Foods, Vol. 3, Commercial Food Freezing Operatins-Fresh Foods, 347~376 (1968).
- 13) 横山茂樹：私信 (1971.1).
- 14) 谷川英一・秋場稔・山下二郎：ナマコ肉抽出液の流動複屈折、I. 水およびWeber液で抽出し

た時の流動復屈折, II. ナマコ肉抽出液の流動復屈折と抽出蛋白の電気泳動的挙動, III. ナマコ肉抽出液の流動復屈折の生因, 日水誌, Vol. 21, No. 3, 175~178, 179~182, 183~186(1955.3).

- 15) Eiichi TANIKAWA : Chemical Studies on the Meat of Sea Cucumber (*Stichopus Japonicus Selenka*), part I. Studies on the Nutritive Value of the Meat of the Sea Cucumber, *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, Vol. 5, No. 4, 338~351, Vol. 6, No. 1, 37~51 (1955.2,5).
- 16) Eiichi TANIKAWA : Chemical Studies on the Meat of Sea Cucumber (*Stichopus Japon-*

*icus Selenka*), Part II. Studies on Post-Mortem Changes in the Chemical Constitution of the Meat of the Sea Cucumber, *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, Vol. 6, No. 1, 52~79 (1955.5).

- 17) Eiichi TANIKAWA : Chemical Studies on the Meat of Sea Cucumber (*Stichopus Japonicus Selenka*), Part III. Studies on the Proteins of the Meat of Sea Cucumber (*Stichopus Japonicus Selenka*), *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* Vol. 3, No. 1, 1~91 (1955).

## 研究論文 昇華における表面素過程の熱的影響

The Surface Process of the Sublimation of Ice Influenced by the Supplied Heat.

林 勇二郎\*

Yujiro HAYASHI

服部 賢\*\*

Masaru HATTORI

### Abstract

The surface process of sublimation was investigated for ice. By the analysis as the conduction problem, the relations among the rate of phase change, the supplied heat and the shape of the subliming surface were clarified.

### 1. 緒言

異相平衡からのずれが推進力となって起る物質移動の現象において、表面からあるいは表面への物質移動が Kinetic control の条件下で行われる場合、表面での素過程が全過程を支配する。この際、相変化速度に及ぶ供給熱量の影響は重要となるが、これについては従来ほとんど検討されていないようである。著者らは前報<sup>(3)</sup>で氷の昇華実験を行い、反応論的に必要な熱量以上の熱供給がなされた場合、昇華面形状の変化およびそれに伴う相変化速度の変化が生ずることを明らかにし、表面形状変化を考慮した氷の昇華曲線を得た。

本報はこの種の問題を熱伝導問題として解析し、供給熱量と相変化速度さらには昇華面上に生ずるくぼみの成長等との関係を明らかにし、供給熱量が表面素過程に及ぶ影響をより詳細に検討するものである。

### 2. 氷の昇華曲線

表面素過程が支配的である条件下での相変化速度と供給熱量の関係は前報で述べた通りである。その概要は以下の如くである。

供給熱量が反応論的に定る相変化速度  $w_0$  に必要な熱量  $q_0$  ( $\doteq 1052.64 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ ) 以下の場合には、 $w = q/L$  なる比例関係が成立し現象的にも安定である。しかし  $q_0$  より大なる熱供給に対しては、昇華面の形状が平面からくぼみを有する粗面に変化し、供給熱量を

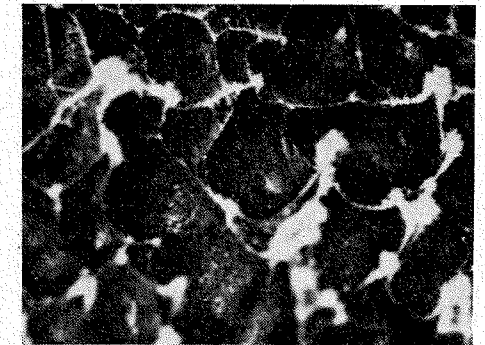


図1 昇華面形状の一例 倍率×5  
( $p=0.2 \text{ mmHg}$ )

消化するのに必要な表面積となる迄くぼみは成長する(図1, 2参照)。即ち相変換速度が初期における  $w_0$  から供給熱量に相当する値となる迄変化する非定常の過程となる。

昇華は沸とう等の現象と異なり注目相それ自身が伝熱面となっているため、このような表面形状の変化は無視できず重要な問題となる。

式(1), (2)は図3(a), (b)に対応し、それぞれ平面および粗面からの相変化速度を表わす。ただし同じ添字を有する温度と圧力は互に平衡であることを意味する。

$$w_0 = A_0 (M/2\pi RT_0)^{1/2} P_0 e^{-E/RT_0} \dots (1)$$

\* 金沢大学工学部  
\*\* 東京工業大学