オキアミとその利用

木 村 進 Susumu KIMURA
農林省食品総合研究所

地球上の人口および資源の将来について、科学的、経済的根拠の上に立って総合的に検討したローマクラブの報告(警告)、すなわち“The Limits of Growth”が1972年に発表されて以来、先進各国は人口問題、資源・エネルギー問題について積極的な検討をはじめた。また、1972～74年には、食糧供給国において穀類・油糧種子などの不作が発生し、さらに、1973年後半における石油問題がかさなり、これを契機として国際的に食糧問題を討議する機運となっており、1974年11月にローマで世界食糧会議が開催された。

食糧資源の将来に対する不安は局地的なものではなく、グローバルな不足の危険性をはらんでいることから、食糧そのものが国際政治の戦略に使われる様相を呈してきた。したがって、日本のようにオリジナルカロリーからみて約50%以上を国外の農産物に依存している国においては、食糧生産国(供給国)における農業政策、作物の作柄によって、常に量、質および価格の面で大きな影響を受けることになる⁽¹⁾。

わが国において食糧の自給率を高めるよう努力することはもちろんであるが、未利用資源の食糧化、未開発食糧資源の探索を積極的に行なうことが急がれている。陸上における未開発食糧資源として、微生物、藻類、キノコ類などをあげることができるが、生産および加工のための資源、エネルギーおよび生産物の安全性などの面に問題が多く、現時点では食糧資源の対象とするための結論がだされていない。海洋資源については、深海魚、北方水域、南極海域の魚類およびオキアミが、食糧資源に

活用可能なものとして注目されている。とくに、オキアミは数億トン～20億トン程度生息すると推定され、昨今では日本、ソビエトをはじめとして各国から注目され、積極的な調査が開始されている。

本稿では、オキアミの分布密度が高く、かつ大形のオキアミが生息する南極海域のオキアミに焦点をしばり、食糧として利用する場合の問題点と、その解決のために必要な技術的問題について紹介する。南極海域のオキアミ資源の状況およびオキアミの成分組成、利用に関する試験研究については、すでに小山⁽²⁾、築瀬⁽³⁾、衣巻⁽⁴⁾、海洋水産資源開発センター⁽⁵⁾により発表されているので、これらの文献の紹介とともに、オキアミを加工・利用する側からの技術的問題点について、筆者なりのスペキュレーションをまじえて解説する。

1. オキアミとは

オキアミ類は全世界の海洋に分布し、その密度は北太平洋と南極海域にもっとも高いといわれ、その生息量は先述のように数億トン～20億トンといわれる。とくに南極大陸周辺の海洋に密度が高く、かつ図1に示したオキアミ類のなかでも大形の *Euphausia superba* が多い。

1) エビとオキアミ

オキアミ類はカニ、エビと同じ甲殻類であるが、形態および生態的分類からはエビとは異なる。たとえば、エビは鰓が内部にあるが、オキアミは外に露出しており、またエビは孵化後海底に生活するのに対し、オキアミは

図 1 主要なオキアミ類⁽⁶⁾

a : *Euphausia superba*, b : *E. pacifica*, c : *E. crystallorophias*,
d : *Meganyctiphanes norvegica*, e : *Thysanoessa macrura*, f :
T. inermis, g : *T. rashii*, h : *T. longipes*. (×8/7)

海表面あるいは水深 200 m (ときには 1,000 m) 程度のところで終生浮游生活する。さらに、オキアミは主として植物プランクトン(藻類, 珪藻類)を餌とし、滑鞭毛, 貧毛, 放射虫, 有孔類などの動物プランクトンも餌とするようである。このように、エビとは異なる甲殻類であるが、外観的には図 1 のようにサクラエビと酷似し、食用に供した場合の風味もサクラエビと非常によく似ている。

南極海域のオキアミは *Euphausia* 属と *Thysanoessa* 属が多い。*Euphausia* 属には *superba*, *crystallorophias*, *frigida*, *triacantha*, *vallentini*, *lougistrostris*, *lucens*, *similis*, *spinifera*, *recurva* など、*Thysanoessa* 属には *macrura*, *vicina*, *gregaria* などの種類があるといわれている(甲殻綱——エビ・十脚目, オキアミ・オキアミ目)。

南極海域に多く分布し、かつその形の大きい *E. superba* は、0.55 mm の成熟卵を 200 m 以深の南極海の中層で産卵し、孵化後、ナウプリウス幼生 (nauplius larva) メタナウプリウス幼生 (metanauplius larva), カリプトピス幼生 (calyptopis larva), ファーシリア幼生 (fur-

cilia larva) と変態しながら、1 年後には体長 10~15 mm の成体となる。これが 1 年生グループのオキアミであり、その後 1 年で約 50 mm 以上の 2 年生となる。2 年生オキアミの体長はまちまちで、*E. superba* の場合は 50 mm 以上 (L), 40~50 mm (M), 40 mm 以下 (S) に分けられ、サクラエビに近い体長になって一生を終る。オキアミの寿命については明確な資料はないが、通常 2~3 年であるといわれている。

2) オキアミの資源とその分布 ——オキアミと鯨と人間

海洋における食物連鎖は図 2 のようであり、南極海域のオキアミは、鯨、アザラシ、ペンギン、アホウドリ、ウミツバメ、コオリウオ科およびノトゼニア科の魚など、哺乳類、鳥類、魚類の餌として捕食される。そのうちオキアミの主たる捕食動物は

鯨である。たとえば、毎日 40 kg ずつ体重増加を示す成長期のシロナガス鯨 (ヒゲクジラ) は、24 時間に約 3 トンのオキアミを餌とし、南極海ですごす 6 カ月の間に約 500 トンのオキアミを捕食するといわれている。したがって、シロナガス鯨の頭数から計算すると、毎年約 2 億トンのオキアミが鯨の餌となっていることになる。

もし、かりに人類が食・飼餌料としてオキアミを利用するとすれば、鯨、鳥類、魚類に人間が割り込むことになる。南極海域のオキアミは、ペクナー氏によれば 15 億トン、ソビエトの調査では 10~15 億トン、その他の不確定な調査では 20 億トンと推定され、少なく見積っても 6~7 億トンは生息するといわれている。鯨の乱獲を防止するために、国際捕鯨委員会では捕獲量を規制している。したがって、将来は鯨が増加することが予測される。鯨の繁栄期にはシロナガス、ナガス鯨が 100 万頭存在したといわれ、ほぼその程度に鯨の頭数が回復すると仮定すれば、鯨の餌として必要なオキアミは 2~3 億トンと考えられる。このほか、アザラシ、ペンギン、南

図 2 海洋における食物連鎖⁽⁴⁾

極魚などの餌として必要なオキアミの量は5,000トン程度と考えられる。このような計算から、FAOでは非公式に年間5,000～7,000万トンのオキアミの漁獲は可能であるといっている。また、わが国では少なくとも3,000万トンは漁獲可能と推定している（東海区水産研究所資源部）。

南極海域におけるオキアミの分布は、先述のようにソビエトで詳細な調査が行なわれているようであるが、公

式の発表はないようである。また、わが国では水産庁が海洋水産資源開発センターに調査を依頼し、昭和47年から調査を開始している。いずれにしても、オキアミの漁獲を目的として、その分布および数量を実測しているのはソビエトとわが国の2カ国だけのものである。しかし、調査の対象となる海域が広範で、かつ海

流の状態の部分的変化、南極大陸の気象条件の相違、動物プランクトンの発生の変動など、変動要因が多いので、総合的で正確な数量の把握にはまだ2～3年を要する。少し古いが、多くの文献に引用されているMarrの報告⁽⁷⁾を図3に示した。この図からわかるように、南極収束線内（南極海の氷山が融解し、南極海に真水（淡水）が混合した水域が張り出し、通常海水と南緯50度付近で接する線内）に植物プランクトンの発生が多く、し

図 3 南極海におけるオキアミ *E. superba* の分布⁽⁷⁾

たがってオキアミの分布密度が高い。とくに、ウッデル海と昭和基地の北方海域に多いようである。なお、わが国が昭和47年から継続して調査している結果については、本年4月の日本水産学会に口頭発表されたので、近く正確な報告が関係誌上に発表される予定である。

3) オキアミについての各国の関心

オキアミについての学術調査・研究は過去においては鯨との関連において行なわれていたが、前述のように、わが国およびソビエトにおいては食糧資源として注目し、研究が行なわれている。とくにソビエトでは、数年前から毎年3,000~5,000 トンを漁獲して学術的研究と同時に食用化の研究を進めており、大量加工の方法が確立されようとしているといわれている。わが国では、海洋水産資源開発センターが昭和47年から調査船をだして資源調査、漁獲試験を行なっている。昭和47年には2,000 トンの運搬船で60 トン、昭和48年には1,500 トン型のトロール船で650 トン、49年には1,500 トン型トロール船で1,100 トンを試験漁獲した。また、日本水産株式会社では独自に3,500 トンのトロール船を派遣し、1,500 トン程度漁獲した。いずれも、オキアミの資源調査とともに、効率的な漁獲方法、漁獲物の船上・船内における処理および保管条件の検討を行なっている。

以上のような日本とソビエトでの積極的な調査研究に対し、他の国では現場における調査研究はまだ行なわれていない。しかし、本年からはアメリカ、イギリス、ノルウエー、デンマーク、オーストラリア、西ドイツ、スペインなどの国がオキアミととり組む姿勢を示しており、日本、ソビエトを含めてこれらの国の間で1974年11月に行なわれた世界食糧会議の際に、非公式ではあるがオキアミに関する会議が開かれた。この会議では、オキアミの資源管理、オキアミの漁法および漁獲物の利用法などについて、関係国が情報を交換し合うようにとの申し合わせがなされたようである。フランスもオキアミに強い関心があり、日仏文化交流の一端である両国の海洋開発委員会で、フランス側からオキアミが議題として提出された。このように、いずれの国もオキアミへの関心が高く、本年度には日本、ソビエト以外の国も南極海域に調査船を派遣するようである。いずれにしても、現時点ではオキアミの漁法、利用に関する調査研究ではソビエトが第一の先進国で、わが国がこれについている。

表 1 生凍結およびボイル凍結オキアミの成分⁽³⁾

	生凍結	ボイル凍結
固 形 分 %	19.95	18.60
粗 蛋 白 質	13.42	12.06
脂 質	3.42	2.43
還 元 糖	0.25	0.12
全 糖	0.71	0.63
灰 分	3.65	3.84
蛋白態窒素 mg %	1,329	1,486
アミノ態窒素	260	128
全 窒 素	2,146	1,930
揮発性塩基窒素	12	6
エキス分窒素	817	443

体長 25~45mm. 昭和48年1月12日漁獲.

4) オキアミの成分

オキアミの成分についての分析結果は、それほど多くはない。また、過去の結果は鯨の胃からとり出したオキアミを分析したものが多く、オキアミを採取直後に船内で分析したものは非常に少ない。わが国では、昭和47年度、昭和48年度に、調査船が漁獲後ただちに凍結して持ちかえたものを東海区水産研究所で分析したものが最新の結果であろう。オキアミは、前述のように漁獲した海域の状況、1年生と2年生の差、雌雄の差、漁獲後の取り扱い条件により、成分およびその組成が大きく異なる。表1に代表的な分析結果の一例を示した。

一 般 成 分

殻付きの生鮮物は、水分80%前後、粗蛋白質10~14%、脂質2~5%、糖質1~2%、キチン1.5~2%、灰分3%内外といわれている。

蛋 白 質

オキアミの蛋白態窒素は全窒素に対し約60%、エキスの窒素は約40%である。魚類に比較しエキスが多く、その1/4はアミノ態窒素で、ペプチド型が多いことが特徴である。

アミノ酸組成は魚類とは異なり、エビ類と近似し、グリシン、アラニン、プロリン、ロイシン、アルギニンおよびリジンが多い。必須アミノ酸ではロイシン、イソロイシン、バリン、スレオニン、リジン、メチオニンが豊富で、とくにトリプトファンは魚肉蛋白より多い。ラットによる成長試験では、ミルクカゼインと同程度の体重増加と蛋白効率を示すといわれている。

エキスの窒素化合物はエビ類と近似し、グリシン、アラニン、プロリン、ロイシン、アルギニン、リジンなどが多く、これらのほかにオルニチン、タウリン、ベタイ

ンが多い。オキアミは特有の甘味、旨味をもっているが、これらには上記の成分が関係しているわけである。

脂 質

脂質は試料により大きく変動する成分であり、少ないものは1%程度であるが、多いものは10%以上含有することがあると報告されている。

脂肪酸組成は魚油に類似し、とくに鯨油によく似ている。飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸の比は30:70程度で、飽和酸は炭素数14, 16のものが多く、不飽和酸は16, 18のモノエン酸が多い(北極海産のものは炭素数14の飽和酸が少なく、炭素数16のモノエン酸も少ない)。高度不飽和酸は全脂肪酸の約20%を占めている。

不 鹼 化 物

脂質の約5%が不鹼化物である。その主要成分はコレステロールであり、約70%を占めており、このほかビタミンA 600I.U (生鮮物100g中)、カロチノイド(ほとんどがアスタキサンチン、生鮮物100g中4mg程度)および高級アルコールが含まれている。ビタミンAのほとんどとアスタキサンチンの50%は眼の組織に存在している。

キ チ ン

オキアミの甲殻および胃壁の内層は、キチン(アセチルアミノ-グルコース重合体)と硬蛋白、無機質、脂肪からなるキチン質で形成されている。キチン質はオキアミ体重(生鮮物)の約30%を占めており、キチンとしては生鮮物中約1.5%程度といわれている。

無 機 質

エビ類の無機質と類似しており、とくにとり上げてのべるほどのものはない。ただ、フッ素は少なく、魚類の1/10程度である。また、水銀、ヒ素、カドミウムなどはきわめて含量が低い。

ビタミンB群

オキアミには比較的豊富に含有され、生鮮物中パントテン酸は15 γ /g、葉酸66 γ /100g、ビオチン10 γ /100g、ビタミンB₁₂18 γ /100g程度が含まれている。

以上がオキアミの成分として発表されている主なものであり、小動物による栄養試験においても欠陥は認められないといわれている。中村、竹内が行なった臨床栄養試験(除殻したオキアミを1回60~225gを給食し、17日間継続した試験)の結果でも良質な蛋白質であることが認められ、食用化に問題はないようである。いずれに

しても、成分的にはエビ類に類似して食品素材の原料になりうることを示している。ただ、オキアミを本格的に大量に食品素材として利用する場合は、総合的な栄養試験と安全性の試験の裏づけが必要であることは当然のことといえよう。

2. オキアミの利用

オキアミはすでにのべたように、人類が比較的容易に大量に手に入れることのできる地球上の最後の食糧資源ともいうことができる。上記のように、含有成分からみて食糧として直接利用することが可能である。したがって、資源保護の見地からは、オキアミの再生産可能な適正な漁獲量の決定が行なわれるならば、これをいかに有効に利用するかは技術の確立が必要である。

オキアミはサクラエビと形態、風味ともによく似ていることから、形態をかえずにサクラエビと同様に、そのままの形で調理素材あるいは佃煮、珍味類として利用しようとする考え方が一部にある。この考え方は、はるか彼方の南極海域から貴重なエネルギー、船舶、労力を費やしてオキアミを漁獲、処理、輸送するということから考えると、あまり意味のない考え方といえよう。

将来、数10~数100万トンのオキアミを利用しようとする場合は、漁獲後ただちに母船内でオキアミの蛋白質を食品素材とするために一次処理または二次処理を行なう必要がある。すなわち、オキアミ輸送のエネルギーを軽減するために、形態をかえ、重量を軽減し輸送船への積載効率を上げるか、不要部分の除去処理をすることがまず必要である。つぎに、輸送中保管管理しやすい性状にかえ、さらには国内で再処理、再加工する際に生成する排水、廃棄物を軽減しうる状態にまで処理する必要がある。つまり、オキアミを量的に利用するためには、その蛋白質をいかに有効に利用するかを主眼に考えねばならない。したがって、オキアミの形態と独特な風味は積極的に抹殺して除去することを前提条件とし、蛋白質を主体に他の有価成分の利用をはかることがオキアミの利用の基本的な考え方といえよう。

1) オキアミ漁獲後の問題——主として船内処理における

オキアミの鮮度低下と酵素

オキアミは0°C前後の低温下で短期間に成長する生物

であることから、体組織内の酵素活性はきわめて強い。このことがオキアミ漁獲後に船内で処理する場合の大きな問題点である。たとえば、漁獲して気温 0℃ 前後の甲板上に積み上げておくと、わずか 1～2 時間で頭胸部の黒変が進行し、積み上げた下層のオキアミでは内臓の自己消化により臓器の崩壊、溶解が起こるといわれている。また、5～7℃ では 24 時間で揮発性塩基窒素が約 3 倍に増加し、72 時間以内に 60～65mg % に達するといわれている。

自己消化（オキアミの透明度の低下、軟化、崩壊）にはプロテアーゼが、また頭胸部の暗色化にはチロシナーゼが関与していることは当然であるが、上記のようにそれぞれの活性が強いので、鮮度は通常の水産物では考えられないほど急速に低下する。酵素作用の抑制の目的で、漁獲後ただちに急速凍結して -30℃ 程度の低温に貯蔵しても、比較的短期間にアンモニア臭が発生するといわれている。また、リパーゼの活性も強く、脂質の酸化臭の発生がみとめられる。

このように、各種の酵素活性が異常に強いことは、オキアミ利用上の大きな問題点である。すなわち、①漁獲後ただちに酵素不活性化のためのブランチング(blanching, 湯通し)を行ない、その後凍結または乾燥して輸送保管に耐えうるように処理する、②漁獲後ただちに破碎あるいは摩砕して、除殻処理と蛋白質の抽出・分離処理を行なう、③漁獲後ただちに摩砕し、オキアミ自身の酵素を利用して自己消化を進行させる（調味料の製造）、あるいは④輸送中の酵素の変質を許容するとして凍結する、など、以下にのべる母船内における迅速な処理操作が必要である。

母船内における処理

上記のようにオキアミの酵素活性が強いので、母船内において迅速に上記の①～④のいずれかの処理を行なう必要がある。そこで、以下のようなことが問題となる。

①母船内は陸上と異なりきわめて限られた空間であること。②処理加工に必要な動力、熱量すなわちエネルギーの積載量には限度がある。③処理に必要な用水として、海水は豊富であるが、淡水は生活用水程度である。いいかえれば、処理に必要な淡水は海水を淡水化しなければならない。④南極海域においては、きびしい風波により船舶は常に上下、左右の動揺があり、船舶の移動および各処理装置の機関の運転による振動がある。このこ

とは、処理のための機械、装置の種類、性能、構造に相当の制約がある。

これらの諸条件を考慮し、さらに国内まで輸送する経費、輸送中の品質変化、国内で再加工する場合の加工の難易、あるいは国内で再加工する場合に排出する排水、廃棄物の軽減などに配慮し、母船内でどこまで処理を行なうかを決定する必要がある。以下、個々の目的に応じた処理を行なう場合の問題点とその技術についてのべる。

凍結オキアミの製造

国内に輸送する間に多少の品質変化は問題としない場合、あるいは国内においてオキアミ自身の酵素あるいは添加した酵素で消化し、これを調味料として利用するような場合には、漁獲後ただちに凍結する。この場合、①エアブラスト凍結、②接触凍結、③プラスチックに包装後液体の二次冷媒によって凍結する方法、のいずれかを採用し、効率よく凍結すべきであろう。また、凍結時の形状は船内における取り扱いおよび積載効率、国内における解凍処理を含めて考えれば、20～30kg 単位の板状とすることが、また凍結温度は -40℃ 以下が望ましい。このことから、凍結方式は液体の二次冷媒による連続凍結が適当と考えられる。さらに、凍結後の貯蔵温度は輸送中の変質防止を考慮して、-30℃ 以下が望ましいといえよう。

酵素の変質を防止して凍結状態で国内まで輸送する場合は、漁獲後ただちにブランチングを行ない、酵素を不活性化し、冷却後ただちに上記方式で凍結すべきである。ブランチングの条件は、東海区水産研究所の検討結果では、95℃ の熱湯で 5 分間処理することが望ましいことを確認している。このブランチングで問題になることは、ブランチングの連続化の問題と、ブランチングに海水を使用することである。動揺する船内であるから、ブランチングは熱湯槽による処理では危険をとめない、かつ人手を要する。したがって、スクリュースコンベアなどの自動供給方式で、熱湯または蒸気を向流的に供給し、自動化する必要がある。この場合、使用する熱湯が海水であ

海水から淡水を作るエネルギーの比較

熱力学の理論値	0.793 kWh/m ³
逆浸透法	3.70 〳
凍結法	7.93 〳
溶媒抽出法	21.93 〳
電気透析法	35.93 〳
多段フラッシュ法	64.20 〳

ると、オキアミに食塩を加える結果となり、オキアミを利用する上の支障となる。したがって、処理は淡水で行う必要がある。

船内における海水の淡水化にはエネルギーの使用量を極力軽減する方法が望ましいので、イオン交換法、凍結濃縮法あるいは逆浸透圧法が対象となる。操作が容易で労力を要しない点からみれば、逆浸透圧法⁽⁹⁾による淡水化が適当と思われる。

乾燥オキアミの製造

水分 80% 前後のオキアミを凍結輸送することは、重量および凍結保管に要するエネルギーの面からみれば不利である。したがって、漁獲後ただちにプランチングを行ない、何らかの乾燥法により水分 5% 以下まで乾燥し、輸送することが、オキアミを輸送するための経費、輸送中の保管管理の面からは望ましい。乾燥方法は種々あるが、船内において採用しうる方法は、熱風によるバンド乾燥、ロータリー乾燥、気流乾燥、流動層乾燥である。

ただし、乾燥による輸送経費の節減、品質の安定化は考えられるが、船内におけるエネルギー源が陸上より高価であること、国内において 2 次加工する場合の効率および品質（乾燥中の熱変性）を考慮すると、乾燥する意義はあまりないといえよう。

オキアミの蛋白質の抽出のための一次処理

上記のように、オキアミを単に凍結あるいは乾燥状態で国内まで輸送することは、船内処理および輸送経費、エネルギー消費の面と国内における二次加工の面からみて不利である。したがって、漁獲後船内でただちに、利用の対象となる主成分である蛋白質を抽出・分離してしまえば、船倉への積載効率の増大、品質の安定化、輸送経費の節減、さらには国内においてただちに二次加工原料として利用しうるなど、有利な点が多くなる。

このためには、母船内に破碎、摩砕、圧搾、連続遠心分離、熱交換、蒸煮、濃縮、凍結、乾燥、海水淡水化などの単位操作を効率よく行なえる機械・装置が整備され、陸上の食品加工工場に近い内容と技術者とが必要である。もし、このような内容を装備したオキアミ処理母船が建造されるならば、次のようなオキアミ蛋白ペースト（またはその粉末）、オキアミ液化蛋白、オキアミ濃縮蛋白の製造が南極海洋上で行なわれ、経済的に国内に輸送され、ただちに食品素材として利用することができるようになる。

2) オキアミの加工上の問題点

すでにのべたように、船内処理においても、国内における加工においても、オキアミ組織内の酵素活性が強いことがまず第一の問題である。また、食品素材の原料としてみる場合は、製造歩止りの面から利用部分の比率が問題となる。新鮮物の尾肉（可食部）は 30~35%，頭胸部および甲殻（非可食部）は 65% 程度であるが、これを破碎または摩砕し、キチン質を除去して利用する場合は、成分組成（表 1）からみて約 60% の粗蛋白質が利用できるはずである。

ただ、ここで問題になる成分は、充分に分離できなかった色素（アスタキサンチン）、脂肪および揮発性成分（鮮度により異なるが）であり、これらは製品の色、ニオイの面から好ましくない。したがって、上記の部分および成分を処理工程中に分離するような加工方法を検討することが必要である。一方、酵素活性が強いことを利用して酵素分解し、液化蛋白を得ると同時に除殻してオキアミの大部分を利用する場合、蛋白分解酵素以外の酵素、たとえばチロシナーゼ、リパーゼなどの作用を抑制して、これらの酵素による暗色化および異臭の発生防止のための条件を見いださねばならない。

以下、文献上に紹介されている加工方法とその問題点についてのべる。

オキアミ蛋白ペースト

ソビエトにおいて 1970 年に発表した方法⁽⁹⁾（1971 年、アメリカの政府機関が英訳発表；図 4）は、漁獲したオキアミを洗浄し、摩砕または破碎し、これを圧搾または

図 4 オキアミからの熱凝固蛋白質の製造（ソビエト方式）

遠心分離し、甲殻およびそれに付着する一部の肉の部分（パルプ）と赤い乳状の液汁部分とに分離するものである。この場合の各部分の収量は、摩砕した場合に液汁部分は 50～60%，パルプは 40～50% であり、摩砕しないと液汁部分は 45～50%，パルプは 50～55% といわれている。この処理中の損失は 1～2% である。液汁を 95～97℃ に加熱すると、熱凝固蛋白質は容易に沈澱して 50～60% の収率で得られる。その性状は水分 67.6%，脂肪 4.6%，蛋白質 24.5%，灰分 3.0% で、エビと同様の風味と旨味があり、濃いピンク色でカテージチーズ様の物性をもっている。煮汁のほうは淡いピンク色で甘味、旨味があり、エビ様の芳香があるので、スープ原料に使用できる。パルプは約 15% の蛋白質を含み、かつアスタキサンチンを多く含有するので、養魚または養鶏飼料として利用できる。築瀬は、上記のソビエト方式の前処理としてオキアミ自身の酵素で短時間自己消化（45℃、2 時間）処理を行なうことにより、各部分の収量を改変することが可能なことを確認している。

以上がソビエトで行なわれた方式であるが、この方式を連続化するためには、スタティック・ミキサー、スクリーンプレス、あるいは果汁搾汁に利用されている、いわゆるジュースエキストラクターなどを使用し、破砕または摩砕とパルプの分離とを同時に行ない、さらに液汁から微細なパルプの分離をハイドロサイクロンを利用して連続的に分離することにより可能となろう。液汁部分から熱凝固蛋白質を得るための加熱および冷却は、チューブラー型の熱交換機が望ましく、熱凝固蛋白質の分離もハイドロサイクロンと連続型のフィルタープレスあるいはドラパル型遠心分離機、シャープレス型遠心分離機などを

採用することにより、効率よく自動的に分離が可能となるはずである。分離した液汁は、船内で熱エネルギーが充分に使用できない場合には、限外濾過または逆浸透圧法などの膜処理方式を採用すれば、ペーストに近い濃度にまで低温で濃縮することが可能である。

オキアミ濃縮蛋白

アメリカで開発された魚肉濃縮蛋白（FPC, fish protein concentrate）製造法を利用しても、オキアミ蛋白の分離・濃縮が可能である。この方法は、オキアミを摩砕し、これに水と共沸混合物をつくる有機溶媒、たとえばイソプロパノールを加えて共沸蒸留を行ない、水分と脂質の抽出（乾燥と脱脂）を同時に行なおうとするものである（図 5）。この方法によれば、製品の収率は原料の約 10% で、製品は灰白色で、ほとんど無臭の温和な味の粉末が得られるといわれている。

この場合は殻の分離が行なわれないので、殻が製品に混入しており、この点が食品素材として問題となる。しかし、この場合も、筆者の考えでは、前述したようにフィニッシャーにより破砕・濾過して、濾過された物をハイドロサイクロンにより処理することにより殻は分離され、比較的純粋なオキアミ蛋白が得られる可能性がある。また、分離した殻（主にキチン質）からはキトサン、グルコサミンの製造も可能となる。

オキアミ液化蛋白

10 数年前、東海区水産研究所で雑魚の利用方法の一つとして開発された方法を同所の築瀬⁽¹⁰⁾ がオキアミに応用し、オキアミの液化蛋白の製造が可能であることを確認している。この方法は、図 6 に示すように比較的単純な操

図 5 オキアミからの濃縮蛋白の製造

図 6 オキアミからの液化蛋白の製造（東海区水産研究所液化蛋白方式）

作で行なうことができる。要は、オキアミ自身の酵素と細菌の産生する蛋白分解酵素とを 45~50°C の温度で作用させ、オキアミの蛋白質をペプチドおよびアミノ酸まで分解して水溶性とし、これを調味料として利用しようとするものである。酵素分解後に濾過すれば、容易に殻の分離が可能な点にも特徴があり、オキアミの利用率は高い。しかし、製品は甲殻類特有のニオイ、味が濃厚なために、大量消費という見地からは改善の余地が多い。

この方法の改善の一つとして、原料を破砕して液汁を分離し、パルプ部分を酵素分解し、分解液から除殻後に性能の異なる膜を使用して限外濾過し、分子量の大小に分画し、味およびニオイの修飾を行なうことも考えられる。

処理・加工上の技術的問題

上記のように、オキアミをそのまま凍結または乾燥する方式、オキアミの蛋白質を分離する方式の基本は、すでに見いだされている。しかし、漁獲後に船内で鮮度が低下しない間に迅速に、かつ大量に経済的に処理・加工するためには、つぎのような検討の上に適切な技術の組立て、装置の開発が必要である。

①オキアミ生鮮物、加熱物の各部位の比重、弾性定数、粘弾性特性、せん断・破壊・摩擦特性、熱伝導率、流動特性など、理工学的特性をまず第一に測定し、破砕、摩擦、分離、移送、加熱の諸元を決定すること。いいかえれば、オキアミの静的動的環境下における物性を把握する必要がある。

②上記物性の把握の上に、処理に必要な各単位操作の方式が決定され、破砕・摩擦機、遠心分離機、熱交換機、濃縮機、乾燥機および移送用ポンプ、さらにパイプ、コンベアなどの性能、構造、型式が決定されなければならない。

③オキアミの処理・加工母船の振動、動揺の測定により、②の装置の能力、精度の限界と構造改変部分が決定され、また装置の配列、耐振、耐衝撃を考慮した固定方式が決定されなければならない。

④処理・加工に要する水は、原料洗浄、加熱、濃縮、冷却などに使用するもの、およびボイラー用水などを合計すると、通常、原料の 10~20 倍が必要である。オキアミの処理・加工の場合は 1~5 倍程度と考えられる。今かりに 1 倍と仮定しても、1 日 10 トンのオキアミ処理の場合、10 トンの用水を必要とする。陸上の工場の場合

は 10 トン程度の用水は問題とならないが、船内で淡水 10 トンをつくりだすことは、そのための装置、エネルギーの面から容易なことではない。したがって、すでにのべたように、逆浸透圧法、凍結濃縮法、イオン交換法など、エネルギー消費量の少ない方法を採用するとしても、排水の再使用などを含め、用水利用のクローズドシステムの確立が必要である。

⑤処理・加工品を船倉に保管し、加工時の品質を保った状態で国内まで輸送することが望ましい。この場合、加工品の状態（流体、半固体、凍結、乾燥）により異なるが、保管容器の容量単位・材質・構造、保管のための温・湿度管理条件などが設定されなければならない。

以上、①~⑤のような食品工学的検討は、現段階では充分にはなされていない。食品化学的検討と併行して、総合的に検討されるべき問題であろう。

3) オキアミの具体的利用法

①オキアミそのものとしては、冷凍、乾燥サクラエビと同様に調理素材としての利用があり、佃煮、珍味などとしての利用が考えられる。

②オキアミ熱凝固蛋白、濃縮蛋白は、水産練製品、ミートボール、ハンバーグ、シューマイ、ギョーザ、パン、ふりかけ、菓子の原料としての利用が考えられる。この場合には、色、味、ニオイは昨今加工原料として使用量が増加しつつある、いわゆる植物蛋白食品（大豆・小麦蛋白 textured vegetable protein）程度に無色、無味、無臭であることが要求される。このためには、母船内で鮮度の高いうちに一次加工されたものが望ましく、それでも色、味、ニオイが残る場合は、国内において脱色、可溶成分の除去、脱臭などの二次処理が必要となる。

③オキアミの液化蛋白などの酵素分解物および酸分解物は、それらの色、香味の面から魚醤油、しおからなどの調味料として好ましい品質である。したがって、調味料としての利用範囲は広い。

④母船内における一次処理残渣である殻は、キチン質が主体で、カロチノイドを多く含有している。したがって、キチン質からキトサン、グルコサミンの製造が可能であり、また産卵鶏の飼料、観賞魚の餌料として利用できる。しかし、大量の殻が得られるわけであり、これに貴重な輸送エネルギーを使用して国内までもってくる価値があるかについては検討の余地がある。南極海に資源

どして還元しておくほうが好ましいかもしれない。

⑤上記①～③で量的に利用しえない場合には、飼餌料として有効に利用しうることは論をまたない。

*

オキアミの資源、成分および処理・加工・利用について、問題点も含めて概説した。現段階においては、オキアミの適正な漁獲量の設定、食品としての栄養価および安全性の再確認がなされるならば、オキアミの漁獲および処理・加工に必要な母船の建造・整備はわが国の造船技術をもってすれば容易であり、さらにわが国の水産化学、食品化学、食品工学はオキアミの有効利用のための技術とシステムの確立にさほど時間を要しない。したがって、オキアミにより、わが国の蛋白質食糧資源を豊富にすることも、また開発途上国へ蛋白質食糧の供給も可能となる。

しかし、南極海域での漁獲および南極海域から国内までの輸送に要するエネルギー、労力からみると、大きな問題を包含している。たとえば、3,000 トン程度のトロール船でオキアミを漁獲し、国内まで凍結して輸送した場合、オキアミ1 トン当り約20 万円を要する。また、オキアミから1kcal の熱量を得るために必要な消費エネルギーは、ごくおおざっぱに見積っても10kcal 近くを

必要とする。このような見地から考えると、オキアミ利用の意義に疑問をいだかざるをえない。したがって、オキアミの利用については、わが国の食糧資源（水産資源はもちろん含まれる）の将来を展望し、かつエネルギー資源の量的確保・利用の展望の上に、総合的な検討が加えられねばならない。また、各国のオキアミに対する関心が高まりつつあるときだけに、わが国のオキアミの利用に関する基本的な考え方を早急に、かつ慎重に決定する必要があるのではなからうかと考えるものである。

文 献

- 1) 大村 進：農化，49，73 (1975)。
- 2) 小山武夫：さかな，第11号，28 (1973)。
- 3) 築瀬正明：東海水研報，77，97 (1974)；78，79 (1974)。
- 4) 衣巻豊輔：食の科学，11，74 (1973)；ジャパニフードサイエンス，14(1)，48 (1975)。
- 5) 海洋水産資源開発センター：海洋水産資源開発センター資料 No. 2 (1973)；資料 No. 3 (1974)。
- 6) J. Mauchline & L. R. Fisher：“Advances in Marine Biology”，7，Academic Press, London & New York (1969)。
- 7) J. W. S. Marr：Norsk Hvalfangsttid，No. 3，127 (1956)。
- 8) 木村 進：食品工業，17(10)，20 (1974)。
- 9) N. I. Krychkova：Rybnoe Khozyaistvo，46(11)，53 (1970)。
[U. S. Government Research and Development Reports, 71, 5, 40 (1971)]
- 10) 築瀬正明：東海水研報，65，59 (1971)。

<プロフィール>

Hadwiger, Lee A. 1933年11月2日米国オクラホマ州に生まれる<略歴>1955年オクラホマ州立大学卒業(農学)／'59年同大学より修士授与(遺伝学)／'62年カンサス州立大学より博士授与(生化学，遺伝学)／同年オクラホマ州立大学にて Post Doc. (植物におけるピリジン環化合物の生合成について)／'63年カリフォルニア大学 (Davis) にて Post Doc. (芳香族アミノ酸の生合成およびそのラベリングパターンの解析)／'65年よりワシントン州立大学にて，教育および *P. sativum* のフィアレキシン生成系における調節遺伝子の動態の機構について研究。現在同大学植物病理学教授<研究テーマと抱負>植物における病害抵抗性

浜田 茂幸(Shigeyuki Hamada) 昭和17年6月25日生<略歴>昭和42年大阪大学歯学部歯学科卒業／46年同大学大学院歯学研究科博士課程修了／同年同大学歯学部助手。同年よりノースウエスタン大学医学部に留学中<研究テーマと抱

負>虫歯の細菌学，とくに *Streptococcus mutans* について<趣味>ツン読

林部 正也(Masaya Hayashibe) 大正8年9月25日生<略歴>昭和19年大阪大学理学部化学科卒業／同年オリエンタル酵母工業(株)入社／40年山形大学農学部農芸化学科応用微生物学講座／49年大阪市立大学理学部生物学教室細胞生物学講座，現在にいたる<研究テーマと抱負>本号に執筆したことは興味の中心点ですが，ほかに比較の意味で *Schizosaccharomyces* 属酵母に手を出したところ，*Saccharomyces* とは著しく異なる生理的性質が明らかとなってきた，目下そちらのほうにとりつかれています。相変わらず酵母一辺倒です<趣味>下手なテニスは大阪に来てから一度もやっておりません。微薫を帯びて放談することは相変わらずですが，むづかしい世の中になってきて，失言をしない範囲に話題を限っております。大阪に着任して以来，教室に淫風がただようようになったという噂が

ひろまっておりますが，ぬれ衣もよいところで，小生が適応させられたのだと主張しております

平井 秀松(Hidematsu Hirai) 大正9年1月6日生<略歴>昭和17年東京大学医学部医学科卒業／24年同学部助手(生化学教室)／30年同助教授／39年北海道大学医学部教授，現在にいたる

松香 光夫(Mitsuo Matsuka) 昭和17年3月27日生<略歴>昭和39年玉川大学農学部卒業／44年東京大学大学院理学系研究科(生物化学)博士課程修了，理学博士／同年玉川大学農学部講師を経て，現在同助教授<研究テーマと抱負>当面は捕食性昆虫の栄養学的な研究。それを含めて栄養または代謝生理と生命現象，とくに各種の分化との関連について興味を持っている<趣味>写真，学生と論ずること