

# 農芸化学領域に展開された 動物食品の研究

名城大学農学部 佐藤 泰

## I. 戦後期の思い出

戦後に物資不足の続くなかで、学会誌とは名ばかりの抄録号に、戦中の貴重な研究、たとえば家兎筋肉中の *N, P, S* の形態分析、 $\alpha$ -アミノイソ酪酸の存在、魚油の分析などの成分化学の抄録が掲載されている。そんな抄録号が 1948 年ごろまで続いた。1955 年ごろまで動物食品研究の大半は日畜会報、日水誌、水畜産各試験場報告に見られ、畜産物の研究内容は製造試験や生産関係の報告が多かった。戦中にとだえた文献の入手も次第に復活するなかで、ガラス電極 pH メーター、分光光度計、イオン交換樹脂、濾紙クロマトなどの器具や方法が普及し始めた。このことは研究者の活動範囲を拡大し、酪農畜産振興のかけ声もあって、貯蔵や製造の基礎的研究が農化誌に見られるようになった。たとえば高温加熱牛乳のアミノカルボニル反応で urea-lactoside、乳蛋白質と糖の結合物、窒素配糖体の確認によるアマドリ転位の証明のほか、カラメル臭の主成分として iso-valeraldehyde の分離確認がなされ、イオン交換による脱 Ca 牛乳での熱凝固温度やレンネット凝固時間の研究からソフトカードミルクが誕生した。

1950 年代に設置された新制大学に畜産物関係の講座増設が相次ぎ、全国 6 大学に新制大学院制度が発足している。また 1956 年に日本が国際酪農連盟に正式加入し、産業学問ともに諸外国との接触が始まり乳研究が活気づいた。レンニンによるカゼイン凝固反応は、 $\alpha$ -カゼインの酵素分解を第 1 段階とし、第 2 段階でパラカゼインが Ca で凝固すると解析され、 $\alpha$ -カゼインは  $\alpha_s$  と  $\kappa$  の複合体でレンニンの作用をうけるのは  $\kappa$ -カゼインであることが明らかになった。このころ普及し始めた電気泳動法は、微量少量の蛋白質識別を短時間で容易にした。牛乳脂肪球皮膜蛋白質としてラクトグロブリンやリポ蛋白質の指摘、常乳と乳房炎乳でのホナー蛋白質の比較、均

質化牛乳におけるカゼイン粒子の細分化やフォスファターゼの部分失活などの成果が展開された。またバターや戦後に流行した発酵乳のフレーバーについては、*Leucostoc* 属のジアセチル生産が、また乳酸発酵後のカゼイン沈殿防止用安定剤の適用理論が技術の基礎として検討された。チーズ熟成の基礎的变化として、*Penicillium roqueforti* による乳糖、乳蛋白質、乳脂肪の酵素的分解とフレーバーとの関係から究明された。

生体筋肉生化学の著しい発展とともに、食肉加工面からみた死後硬直や熟成における肉の自己分解が取り上げられたのもこの時期である。直殺と苦悶死でのグリコーゲンや酸可溶性リン酸化合物の変化の比較は、筋肉内グリコリンスを背景にした肉質解明の第一歩であった。また熟成の初期では遊離アミノ酸の生成の少ない筋線維軟化段階の存在が予見されている。鶏卵については、オボアルブミンの不均一性、卵白中遊離アミノ酸の消長、全卵に関する硫酸態 S の分布と変化、貯蔵卵白の品質試験法が報告された。戦後まもなく起こったビキ環礁での水爆実験の灰は、降雨によって農産物や水を汚染した。水や飼料の汚染は牛乳に影響し、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{131}\text{I}$  が乳製品に検出されたが、やがて混合型イオン交換樹脂による除去法と除去後の乳質も検討され、官学協同により一応の結末を見た。その努力が 1960 年代になって報告されている。

## II. 高度成長期の状況

1960 年代に入ってから新制度の学位審査も少しずつ増加し始め、大学院学生の参加研究の発表も加わり、動物食品の研究も新段階に入った。1980 年に至る約 20 年間に、動物生産食品の貯蔵加工の基礎的变化が精査され、生産複合体の性質の解析としてとくに蛋白質の種類や物理化学的特性だけでなく、しばしばその構造にまで論及され、総合して複合体を理解しようとする試みがな

され、またそれらの機能利用の方向が模索された。それらの成果は外国雑誌への公表ともなり、生化学分野への貢献とみられる成果も生んだ。とくに日本の得手ともいわれる酵素関連問題では世界に比肩できる成果をあげている。そのなかでとくに本学会誌に発表された成果の概要を述べてみよう。

戦後に始まったカゼインの研究は、乳中存在形態であるカゼインミセルの形成要因と実態解析の2方向から研究された。 $\alpha_s$ カゼインではCa高結合能、会合性、反応性およびそれらに関する構造上の問題、 $\beta$ カゼインでは等電点近くでの重合、重合による形状変化、 $\kappa$ -カゼインではミセル安定化能、同機能を持つカラギナンやラクトン $\beta$ カゼインの作用が究明された。ミセル形成上重要な $\alpha_{s1}$ - $\kappa$ および $\beta$ - $\kappa$ のカゼイン複合体形成では、疎水結合の関与が注目され、Caによる複合体の会合、反応に関与する構造上の問題が検討された。これらの研究には超遠心分析、旋光分散、円偏光2色性、免疫電気泳動、蛋白質の化学修飾などの手段が研究を促進した。牛乳中から分離精製されたアルカリ性および酸性プロテアーゼについては、前者が血液プラスミンと同性質で $\beta$ カゼインから $\gamma$ カゼインを生成することが証明された。このような研究には1972年MercierやRibadeu-Dumasらにより明らかにされた各カゼインの一次構造の解明が役立った。ミセル実態解析の試みは種々のゲル濾過クロマトの適用で進展し、サイズによる分画、サイズによるCa含量の差、ミセル透析による構成カゼインの部分的溶脱、コロイド性Caの交換性、ミセル外側に $\kappa$ カゼイン糖鎖の集中などが証明された。これらの各カゼインの基礎的解明と併行して、牛乳の加熱で起こるCaとカゼインの沈殿、100°C以上で起こるカゼインの凝集、 $\gamma$ 線照射で生ずるカゼインのゲル化も考察された。また1/2.5濃縮脱脂乳(脱乳清蛋白)の135°Cで起こるミセル凝集、凝集した大ミセルからのCa、P、 $\kappa$ -カゼインの脱離、脱脂乳の凍結で生成するCaやPを多く含む凝集、長期凍結で生ずる凝集体から $\kappa$ や $\beta$ -カゼインの遊離などの変化が見出された。カゼイン濃厚溶液の粘弾性的研究は希薄溶液論と牛乳加工をつなぐ新しい見方を提供している。また牛乳脂肪球皮膜蛋白質では、脂質蛋白質複合体の可溶性アポ蛋白質中に糖蛋白質が見出され、ホエー中のプロテオソープトン画分に泳動性は違いますが抗原として同じ成分の存在が指摘された。

牛乳の育児用化の目標としての人乳研究が進み、加熱などの溶液反応が牛乳と違うだけでなく、蛋白質の分娩後変化や個人差が大きく、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\kappa$ の各カゼインは存在するが $\alpha_s$ カゼインはなく、ホエー中に $\beta$ -ラクトグロ

ブリンも存在せず、キモンシ(レンニン)で生成するバラ $\kappa$ -カゼインは2種類存在するなどの差異が見出された。このような本質的な差異のほかに、牛乳を乳児用に適合させるため、Caイオン調節によるソフト化だけでなく、プロテアーゼの選択使用による消化性改良品の製造や、 $\beta$ -ラクトグロブリンとカゼインの相互作用を利用した熱安定性ホエー増強乳の製造が工夫された。このプロテアーゼ限定分解の利用では苦味ペプチド生成の回避が問題であった。これに関連して他の食品を含めてペプチドの味の研究が拡大し、経験的に知られたチェダーチーズ熟成中に生ずる苦味ペプチドの一部も明らかにされた。

チーズ製造については、カゼインカードの収縮力、*Penicillium caseicolum*による白かびチーズの風味成分とプロテアーゼの性質、プロセスチーズの熔融塩と組織の関係などが考察された。注目されるのは微生物由来のキモンシ様酵素の研究で*Mucor pusillus*のプロテアーゼが凝乳酵素として実用化されたことである。このほかにも数種の微生物源の酵素探索がなされた。チーズ熟成段階での蛋白分解には乳酸菌細胞内のプロテアーゼの関与も考えられることから、代表的桿菌球菌のカード内での自己消化の証明、細胞内酵素による $\alpha_s$ カゼインの分解、キモンシとの協同による熟成率の向上が示された。しかし細胞内リパーゼの作用は微弱で、むしろ細胞膜脂質の分解に影響すると考えられた。乳酸菌はチーズおよび発酵乳のスターターとして保存に便利な凍結菌や凍結乾燥菌の調製が要求され、その基礎として凍結での損傷率や凍結乾燥菌の復水時の生存率などが検討されたし、乳酸菌の培養至適温度の調査には温度勾配培養法が開発されて関心が集まった。また飲用としての効果に関連して、共棲における相互の発育促進の解析、*L. faecalis*原形質内物質による*B. cereus*の生長抑制、*Bifidobacterium*の代謝や酵素が検討され、乳酸菌バクテリオファージの研究も多数報告された。

牛乳脂質の報告は少ないが、本邦産牛乳および各種動物乳の脂質の脂肪酸組成、トコフェロール類の抗酸化効果、乳脂質中の糖脂質に関し報告されている。

牛肉の新鮮度判定にポーラログラフの蛋白波利用法が検討され、ポリエチレン包装肉の $\gamma$ 線照射の有効性が示された。当時の食品 $\gamma$ 線照射は大きな課題であったが、動物食品に関しては残念ながら実用化に至らなかった。肉の熟成変化はアクトミオシンの変化と筋線維中の酵素作用の2方向から究明された。硬直中のミオシンB中のアクチン量は増加するがFアクチンは変性しやすく、ATP-ase活性を失ったミオシンAは低濃度ATPによ

ってFアクチンから解離しやすい。貯蔵中のミオフィブリルでは Mg-ATP-ase 活性が高くなり細フィラメントに変化が起き、トリプシンを作用した場合と似ており、ミオシン主鎖のHメロミオシンの切断も起きる、などの変化が確認された。一方、酵素作用としては、カテプシンDは筋線維の崩壊に主体的な関係なく、CAF (Ca で活性化、Z線除去因子) と2種の中性プロテアーゼに焦点がしばられ、CAF によるとトロポニンが崩壊し Mg-ATP-ase 活性が高まり、Z線構成成分とみられる  $\alpha$  アクチニンがZ線から遊離すると判断された。また肉の極限 pH 5.5 を最適とするプロテアーゼが見出されミオシンをH鎖とL鎖に分解し、 $\alpha$  アクチニンも分解すること、粗カテプシン B<sub>1</sub> はH鎖、アクチン、 $\alpha$  アクチニンを分解すること、最適 pH 6.0~7.6 のアミノペプチダーゼが存在することなどが究明された。

肉加工の基礎としてミオシンの加熱ゲル化がミオシン尾部(ロッド)と頭部(S1)の役割から解析された。ロッドの ATP-ase 活性は 40°C で失活し、35~70°C で最終的に 70% がランダムコイルとなり、S1 はGアクチンの重合を促進しFアクチンと相互作用する。したがってミオシン全体としてはロッドで生ずるランダム構造から分子間でからみ合っただけの網目構造を生じ、S1 がその凝集を起こし粘度を上昇すると解析された。またミオシンの脱水過程がパルス NMR で解析され、ミオシンの変性度は水の多分子層領域における  $A_w$  0.4 を境として変化し、それ以上で変性度は高いが、0.3 M 蔗糖があれば変性は抑制されることがわかった。

加熱肉のフレーバー成分としてガスクロマス法の導入により脂質から多くのカルボニル化合物が同定され、短時間加熱で発生するラクトン類の成因、硫黄化合物やピラジン類の関与が追究され、ウシ赤肉と脂肪の混合物の高温短時間加熱で発生するにおいが分別分類され、とくにピラジン類、ピリジン類の詳細な解析が行われた。また動物脂質の加熱で問題となるアルデヒドのアルドール縮合反応、リン脂質とアルデヒドの褐変反応の速度論的解析、チキンフレーバー 2,4-decadien-1-ol の合成、鶏がらの呈味成分の検索、鰹節フレーバーの分析などの研究もみられる。その他の肉加工関係では、モデル系塩漬での亜硝酸塩の変化、くん煙の成分分析、魚肉ねり製品のゲルの強度と構造などの研究もある。また新資源として登場したオキアミの鮮度やにおいの研究も始まっている。

鶏卵の貯蔵変化として濃厚卵白の水様化(劣化)機構が取り上げられた。水様化ではペプチドやアミノ酸の増加がなく、オボムシンの変化に焦点がしばられ、不溶型

オボムシンの可溶化機構は硫酸化糖含量の多いサブユニット( $\beta$ )と硫酸化糖含量の少ないサブユニット( $\alpha$ )の解離によると解析され、さらに $\alpha$ と $\beta$ の存在割合から不溶型および可溶型オボムシンの差異が示された。このほか、鶏卵中でのリゾチームの局在性、オボムシンと卵白蛋白質の結合性、オボムシン複合体からサブユニットの分離法、オボムシンの糖鎖構造の究明などにより、濃厚卵白の理解が深められた。卵黄の凍結貯蔵で起こるゲル化の主役は低密度リポ蛋白質の変化とわかり、ゲル化に対する共存塩の共晶氷結の影響や解凍条件の影響が検討され、この蛋白質のアポ部分については18種のポリペプチドの存在が証明された。

鶏卵の加工では卵白の機能が一つの問題となる。卵白の泡立性はその一つで、起泡性はオボグロブリン、コンアルブミンで大きく、オボムコイドとリゾチームは小さく、広がりうる単分子膜の最大面積の大ききの順にほぼ一致する。また泡立てに際しオボムシンとオボグロブリンは不溶化しやすく、泡安定性に対しオボムシンの高粘性の寄与が大きいと解析された。卵白の熱凝固については、オボアルブミンの加熱凝集に対する塩や pH など諸条件の詳細な検討、有機酸塩などによるコンアルブミンの熱安定性の上昇が報告された。その他、リゾチームの $\gamma$ 線または加熱による重合、アセチル化およびサクシニル化による卵白の熱凝固温度上昇、卵白乾燥時のシステインによる褐変防止、卵白のプロテアーゼ分解物の抗菌性など、興味ある知見が得られている。

その他の動物食品として、還元可溶化羽毛ケラチン溶液の加熱によりユバ様皮膜が作られ、還元生成した-SH基が再び-S-S-結合を形成する反応の応用として興味をひいた。

戦後35年間の畜産物関係の学会受賞論文は表1のとおりで、このほかに水産学会関係のものもある。この20年間の後半ではアミノ酸を酵素的に導入し蛋白質を改変するプラステイン反応や、モデル化合物によって示されるフレーバー物質や褐変物質の生成反応の研究が盛んに行われ、動物食品の研究者にも大きな影響を与えている。またこの時代の後半から食品の変異源物質やアレルギー源のように、食品の人体に対する影響に関心が深まり始めたのは、食品の毒物や添加物に対する警戒心を出発点とした食品に関するライフサイエンスの動向として注目しなければならない。

### III. 最近(1980年代)の状況

牛乳カゼインの研究も構造や反応の研究が続き、 $\alpha_{s2}$ 群カゼインの高次構造、カゼインと $\alpha$ ラクトアルブミ

表 1 畜産物関連・学会受賞論文題目

1957	乳製品のアミノカルボニル反応に関する研究 (足立 達)
1960	牛乳及び乳製品に関する化学的研究 (佐々木林治郎)
1962	チーズの熟成に関する研究 (梶田文三郎)
1965	牛乳及び乳製品の無機塩類に関する研究 (今村経明)
1965	鶏卵の泡立ちに関する研究 (中村 良)
1968	カゼインの安定性に関する研究 (山内邦男)
1969	牛乳成分の化学的研究 (津郷友吉)
1971	牛乳カゼインの非酵素的凝固現象に関する研究 (伊藤敏敏)
1972	食品の香味 (フレーバー) に関する化学的研究 (藤巻正生)
1973	牛肉の加熱香氣に関する化学的研究 (渡辺乾二)
1973	乳業細菌の凍結乾燥に関する研究 (森地敏樹)
1975	畜産物の成分とその利用に関する研究 (中西武雄)
1978	動物資源の複合特性に関する食品学的研究 (佐藤 泰)
1981	食品の脂質系におけるアミノカルボニル反応に関する研究 (須山享三)
1981	タンパク分解酵素によるカゼイン成分の分解機作に関する研究 (上野川修一)
1981	$\beta$ -ラクトグロブリンの抗原性に関する研究 (大谷 元)
1982	フタル酸エステルの鶏卵への汚染とその産卵鶏への影響に関する研究 (石田光晴)
1984	食肉の色調管理のための基礎研究とその応用 (泉本勝利)
1985	ウシ初乳免疫グロブリンの免疫化学的研究 (金丸義敏)
1986	乳及び卵蛋白質の構造と機能に関する生化学的ならびに物理化学的研究 (山内邦男)

ンの加熱による複合体形成反応,  $\alpha_{s1}$  カゼインおよび  $\alpha_{s1}$ - $\kappa$  複合体の Ca による重合と形状変化, Ca 結合時の  $\kappa$  とパラ  $\kappa$  カゼインの疎水性部位の露出, 初乳常乳の  $\kappa$  カゼインの糖構造の比較,  $\kappa$  カゼイン糖鎖のミセル安定化能の証明, ミセル不均一性が報告され, 人工的サブミセルとリン酸カルシウムによりミセルが 70% の収量で合成されるに至った。そして新しい方向としてカゼインを一つの素材として利用する観点から, カゼインによる加熱オボアルブミンの安定化, カゼインのトランスグルタミナーゼによる架橋形成, 架橋重合  $\alpha_{s1}$  カゼインと酵素との共役による可溶不溶両性を持つ酵素調製, サクシニル化カゼインに L-ロイシドデシルエステル基導入による乳化力強化などの工夫, 固定化酵素によるカゼインの脱リンなどが研究された。またカゼインからトリプシンで生成するペプチドの生理活性 (アンギオテンシン I 転換酵素の阻害, ブラジキニンの効果増強), ヒトおよびウシの  $\beta$ -カゼインからプロテアーゼにより生成する痛覚抑制作用を持つオピオイドペプチドの分離と類縁物の合成の研究は, 薬理作用の利用として注目される。カゼイン研究のもう一つの方向はカゼインの生合成の研究である。泌乳期の離乳・再授乳によるカゼイン遺伝子発現に適したウシ乳腺 mRNA レベルを定め, 精製した mRNA を用いて合成したミルク蛋白質 cDNA クローンバンクから  $\alpha_{s1}$ -カゼインのアミノ酸配列と一致

するクローンが得られたし,  $\kappa$  カゼインの糖基導入はミセル形成後に起こるという生合成経路の一部の証明もなされている。

乳製品関連の乳蛋白質の機能解析では, キモン凝固カードの硬さに対する  $\beta$ カゼインのリン酸基の寄与, 間接加熱 UHT 処理無菌包装牛乳のクリーム層に吸着するカゼインと乳清蛋白質の発見と貯蔵変化, 乳清蛋白質によるヤシ油乳化は低 pH で  $\alpha$ ラクトアルブミン, 高 pH で  $\beta$ -ラクトグロブリンが関与するなどの知見が得られ, 乳化作用における蛋白質の両親媒性構造の関与が論じられている。凝乳酵素の微生物源として *Irpex lactius*, インドネシアで用いられる植物源酵素が報告されているが, プロキモン構造遺伝子の *E. coli* によるクローン化の成功と作用改変クローンの作出は, 遺伝子工学の応用成果として注目された。牛乳脂肪球皮膜の研究では, リボ蛋白質のアポ蛋白のグリコサミノグリカン画分にヘパラン硫酸, コンドロイチン硫酸 A/C が見出され, 可溶性糖蛋白質のリパーゼ阻害機能も示された。

人乳については泌乳時期によるカゼイン組成変化が明白にされるとともに,  $\kappa$  カゼインに対するキモンやペプシンの  $K_m$  値が牛乳の場合と異なり,  $\kappa$  カゼインの構造も  $\alpha$ -ヘリックス 2%,  $\beta$ -シート 43%,  $\beta$ -ターン 26% と解析された。また調製された  $\kappa$  と  $\beta$ カゼインを用い,  $\beta$ カゼインのリン酸化度を調節して人工ミセルが作られ

ている。κ カゼインから酵素で生成するグリコマクロペプチドが *Bifidobacterium* の生長を助いう知見はけると興味ある発見であった。

このほか、ウン乳清中のリポフラビン光分解に OH ラジカルの関与、葉酸結合蛋白質の加熱分解、ウンβカゼイン C 末端部から苦味を持つテトラデカペプチドの分離、ウン初乳中の分泌型 IgA の証明、結晶 α-ラクトースから加熱生成する 4 種のアンヒドロ糖の証明、人乳、牛乳、育児粉乳中の微量元素の分布など多彩な報告がみられる。

乳酸菌関係ではチーズ熟成中のアミノ酸生成の裏付けとして、*S. cremoris* 細胞内ジペプチダーゼとプロリダーゼが精製された。またチーズ中の乳酸菌の自己消化に至る形態変化や、連鎖球菌のクエン酸による異常連鎖現象が電顕像でとらえられ、熱帯果実起源の *L. casei* 変異株の利用が報告された。乳酸球菌のプロトプラスト形成と復帰率、*S. lactis* とその変異体間の細胞融合、*S. cremoris* と *S. lactis* の種間細胞融合の研究は酪農乳酸菌の遺伝子工学的利用の端緒として注目される。

肉の熟成に関しては中性アミノペプチダーゼと、*Bz-naphthylamide* 分解性アミノペプチダーゼが精製され、熟成に関係の深いカテプシン B と L の阻害物質も見出され、肉の軟化との関係が考察され、筋肉ピロリン酸分解酵素の細胞内局在性も明らかにされた。CAF の研究は著しく進展し、CAF により Z 帯除去時に遊離する α-アクチニン、Z 帯 (新命名)、3.4 万ダルトンの新蛋白質が確認され、Z 帯は Z 帯内部に、新蛋白質は Z 帯周辺部に局在して α-アクチニンとともに Z 帯を構成することがわかった。また熟成においてカテプシン D は CAF 作用前に作用しないと推定され、CAF はアクチンやアクチニンを分解しないことも証明され、他の研究と相まって肉の熟成機構の解決も近いと期待される。異常肉としての PSE 筋のミオシンを正常 ghost 筋原線維に入れても収縮を示さず、種々の形の ATP-ase 活性の異常性が示されたのは新たな問題の提起であった。

肉加工に関しては、ミオシン加熱ゲル強度がミオシン頭部の力により増加し、トロポミオシンやトロポニンに影響せず、ミオシンとアクチンの比が 2.7:1 のとき、最高ゲル強度を示すことが確認された。またアクトミオシンに芳香環を導入すると 40°C でゲル化する変化、心筋ミオシンゲルの強度は骨格筋ミオシンより大きいなどの知見も得られている。フレーバー関係では肉エキスのうまみを持つオクタペプチドの構造決定と合成がなされ、鰹節フレーバーの解析も続行された。

水産資源としてオキアミの利用に関心が寄せられ、水

蒸気蒸留残査中の含硫化合物を含めて煮熟臭成分がサクラエビと比較された。また生と煮熟の凍結品では、生の不快臭はピラジン類と *cis*-4-ヘプテナールに関係し、煮熟品ではピラジン類を生じなかった。むきみ、殻、内臓部の水蒸気蒸留では殻と内臓に *cis*-4-ヘプテナールや、3,5-オクタジエノンの不快臭成分が多く、リン脂質の過酸化物の関与も考察された。また生オキアミにはアミン系の不快臭もあることから、漁獲直後に 1N 酢酸に浸漬して凍結する方法の有効性が示された。オキアミの塩辛では、*N-N*-ジメチル-2-フェニルエチルアミンが減少し、ピラジン類とフルフリルアルコールによって不快臭がマスクされることも示された。またオキアミ頭胸部の急激な自己消化も問題となり、プロテアーゼの検索、阻害剤の適用も試みられ、酵素作用前の蛋白変性速度の面からも考察が深められた。

鶏卵に関しては、1962 年に Smith がその貯蔵中に見出したオボアルブミンより生成する熱安定型オボアルブミンについて、両者の構造的差異が再検討され、マスクされた 2 個のカルボキシル基の露出、表面疎水性の増加、分子形の変化、ゲル強度低下が差異とみられた。卵黄凍結によるゲル化は主として低密度リポ蛋白質の凝集によることが再確認され、差動熱量計による卵黄と低密度リポ蛋白質の凍結時の不凍水量が追跡され、凍結条件、添加塩および蔗糖の影響が明らかにされるとともに、凍結が脱水と似た変化であることを共晶氷結理論をふまえて実証された。鶏卵成分蛋白質については褐変反応初期のグルコース付加オボアルブミン単量体の耐熱性とその生体投与時の IgG 抗体の増加が示された。そのほか、加熱や SDS 処理のオボアルブミンやリゾチームで起こる表面疎水性の増加、オボアルブミン加熱可溶性重合物の重合度、オボアルブミンとリノール酸メチル混合物の酸化で起こるオボアルブミンの不溶性などの変化が示された。卵黄のリボビテリン α および β のアポ部分のポリペプチドおよび糖の組成が分析され、シアル酸含量では α は β の 6 倍という知見が得られた。また卵黄グラニューールからホスピチンが 2 種調製され、I が 9 成分、II が 13 成分から成ることが示された。

卵蛋白質の加工機能として、ペプシンで限定分解したオボアルブミンから加熱生成する透明ゲル、卵白とチオール化合物の混合で生ずるゲルとコンアルブミンの関係、種々の形態のオボムシンの起泡性は粘性の反映で乳化性は表面疎水性の反映とする推論が報告されている。

これらのほか、ローヤルゼリーの蛋白質やペプチドの分析は生理作用の解明をめざし、L-ロイシン-*n*-ドデシルエステルを付加した酵素修飾ゼラチンを用いたリノー

ル酸乳化物は  $-10^{\circ}\text{C}$  までの過冷却に耐える氷温貯蔵剤の開発をめざしたものとして注目される。

また 1980 年以前から牛乳の免疫反応の研究が盛んになり、本学会誌にも 1980 年以後に乳卵蛋白質のアレルギーに関する報告が増加した。牛乳  $\beta$ -ラクトグロブリンが抗原となる構造がモノクローナル抗体を用いて研究され、抗原構造が  $-S-S-$  結合により維持される蛋白質の特殊構造によると考えられ、 $\alpha$ -ラクトアルブミン、 $\beta$ カゼイン、 $\alpha_{s1}$  カゼインについてもアレルギーに関係ある構造要因が究明された。またオボムコイドのアレルゲン構造は、人とマウス血清の IgE 抗体と結合しやすいのがドメイン II と考えられるが、モノクローナル IgG 抗体ではドメイン III の構造が関係すると考えられた。オボムコイドのアレルギー反応を消失させる加熱温度も再検討され、構造論的に  $60\sim 90^{\circ}\text{C}$  で可逆的、 $90^{\circ}\text{C}$  5 分間で不可逆的変化が起こると解析された。

以上のように最近では生産物の利用上の機能からさらにプロテインエンジニアリングの方向が志向され、また人の摂食生理面からの研究が増加しているのが特色とみられるようになった。

なお 1980 年以降の畜産物関係の学会受賞論文も表 1 にあわせて示した。

#### IV. 21 世紀への展望

21 世紀に向かって電子機械、光学機械、その他の工業技術の発展による産業構造の変化はますます著しくなり、しかも変化速度を増してゆくであろう。これに伴って生体物質究明の手段が飛躍的発展をとげることも想像にかたくない。

元来、食品の必要条件は、嗜好適合、良好な消化吸収性、栄養成分のバランス、衛生的安全性、摂食の簡便性、購入の経済性であって、非常に保守的で時代的変化が起こりにくいといわれている。摂食の簡便性と購入の経済性は社会状況や加工技術の進歩に応じて変るが、その他の点で極端な質的变化は起こるまい。

ことに動物食品の新資源は水産資源に求められることはあっても、畜産資源には求めにくく、21 世紀に向かって畜産学や水産養殖学に応用される遺伝子工学の成果に

より増産による量的変化は起こりえようが、新種の動物を飼育して食品の新しい質を求めうるかどうかは疑問である。むしろ収獲の合理性や収獲物の長期保存性の追求のほうが優先されるであろう。

今世紀に心配された地球上の蛋白質の不足も、プロテアーゼ逆反応を用いたペプチド合成、微生物分泌蛋白質、遺伝子操作による細胞系無細胞系の蛋白質生産により、蛋白質の究極的充足の可能性認識へと変じ、今後はそれらの学術的発展と実現について期待できそうである。

しかし蛋白質や脂肪が思いのまま生産されたとしても、それらから出発して現在の乳肉卵に代り嗜好性を満足する食品に到達するためには、現在および近い将来において乳肉卵のいっそう多角的な解析が必要となる。すなわち、生体物質の加工における成分相互反応、栄養成分や不適成分の生体内反応による変転、嗜好の心理性などについてさらに広くかつ深く解析を進めておく必要がある。たとえば現在まで主として希薄溶液論的に解明してきた諸現象を食品の姿に近い濃厚溶液あるいは固体中での現象として把握し、修正されるべきは修正されてゆくだらう。また動物食品のような変質しやすい物質の長期品質保持に有効な外的条件の発見がなされるかもしれない。一方では産業における食品加工の工学面は製品の均一性を望む立場からいっそうの発展があるであろうが、やがて工学面から収獲物に関する新しい観点からの究明要求（ソフト面への究明要求）が顕在化し、その解決から総合的発展へと導かれよう。また食品の内容と形態も万人に一律なものでなく、年齢と健康に応じ、また社会生活や労働のあり方に応じ、人間の活動範囲（宇宙もその一つ）に応じ、合理性を重んじた食品が製造されるための基礎研究が展開されるだろう。

個々の成分生産から乳肉卵のアナログ製造がどこまで満足すべき状態に至るかは嗜好との関係できませんが、本物が併存する限り極端な変化は起こらないだろう。むしろ人間としては乳肉卵そのものの生合成を望むだろう。その複合体生合成過程の追跡と総合は 21 世紀の大きな課題として展開されるに違いない。