

# 小麦粉と私

瀬口正晴  
瀬口正晴研究会



# 目 次

|                            |    |
|----------------------------|----|
| まえがき                       | ii |
| 第1章 小麦粉と私                  |    |
| 1. 森永三島食品研究室               | 1  |
| 2. 今さら何を研究するのか             | 2  |
| 3. 小麦粉クロリネーションの研究          | 3  |
| 4. 「松坂の一夜」                 | 7  |
| 5. 生化学研究室                  | 7  |
| 6. 京都へ移住                   | 8  |
| 第2章 小麦粉と私                  |    |
| 1. その後の小麦粉クロリネーションと乾熱処理    | 9  |
| 2. クロリネーションの効果とは           | 10 |
| 3. デンプン粒表面の疎水化とホットケーキ組織の関係 | 11 |
| 4. 神戸女子大学での研究              | 12 |
| 5. カステラの研究                 | 13 |
| 6. 酢酸ガス処理小麦粉による製パン改良効果の研究  | 14 |
| 7. 小麦デンプン粒の加工食品中の重要性       | 15 |
| 8. 小麦デンプン粒の立体構造について        | 16 |
| 9. 小麦デンプン粒のゴースト化           | 17 |
| 第3章 小麦粉と私                  |    |
| 1. 冷凍ドウについて                | 19 |
| 2. セルロースパンについて             | 20 |
| 3. 楽しかった食品加工実習             | 21 |
| 第4章 小麦粉と私                  |    |
| 1. グルテンと病気                 | 24 |
| 2. グルテンフリーパンの研究            | 25 |
| (1) バナナパン                  | 26 |
| (2) 山芋パン                   | 26 |
| (3) ガゴメ昆布パン                | 26 |
| (4) その他のグルテンフリーパン          | 26 |
| 3. マーベル                    | 26 |
| 4. いろいろな思い出                | 27 |
| i. 出勤                      | 27 |
| ii. 授業のやり方                 | 27 |
| iii. 助手への感謝                | 28 |
| iv. 研究                     | 28 |
| 索引                         | 29 |
| あとがき                       | 30 |

## まえがき

この本を書いた目的は、私が研究者としてこの道を歩むときに大きく影響を受けた本があるからである。米国デュポン社に入ってシリカの研究を進めたG・アレクサンダー氏の著書「シリカと私」を読んだからである。大学を卒業して企業研究所にいた私は、これからどのように自らの研究人生を進めれば良いのか、誰に相談することもなく悶々としていた時期があった。誰もが通る道かもしれない。「シリカと私」の小冊子を本屋で立ち読みし、さらに購入して読み進むうちに、G・アレクサンダー氏がデュポン社でどのように周囲の人から影響を受け、自らの研究を進めていったのかがよく書かれてあり興味深かった。この本を読み1つの方向性を感じ、大きく影響を受けた。研究者、特に企業内の研究者は独自性が大きく求められるが、そうは言ってもその道の先導者らの意見は重要で、これを大いに求めるべきである。私のような立場に置かれ迷う研究者がいれば、そのことをアドバイスしたい。G・アレクサンダー氏の歩いた道が「シリカと私」ならば「小麦粉と私」もこれからの研究者、私のように迷う研究者に少しでも役立てば幸いと思う。

---

# 第1章 小麦粉と私

## 1. 森永三島食品研究室

私が東北大学を卒業して森永製菓（株）の研究所に入ったのは、1970年4月であった。森永に入りすぐ静岡、三島の食品研究室勤務となった。東北大学卒業論文では「大腸菌の生産する多糖類の構造研究」を渡邊 敏幸先生の指導で行った。なぜ森永を希望したのかと問われた時、多糖類の関連の仕事をしたかったからと述べた記憶がある。この卒論のテーマからであろう。無気力で無分別な雰囲気の中島の研究室であった。当研究室は鶴見研究所に統合され現在はない。

上昇志向の強かった私が大学を卒業して、企業研究所でも学位などとれる様な仕事を行い、自分を何とか高めたいと思っていた。あの三島の研究室ではあまりにも合点がいかなかった。ぬるま湯的で、あれで十分企業が成り立っているのかとの思いが強く、一刻も早くチャンスがあれば他研究室に移動したいという気持ちが強かったようだ。上司は松木寿助氏だった。当時の森永は大名企業の感があった。新食品材料を売り込みにと業者が持ってきたサンプルなどもその辺の空いているところに置いておけという扱いだったようだ。

初め松木氏から言われたのは、ホットケーキ用小麦粉中の水溶性単糖、オリゴ糖の定量であった。これはペーパークロマトグラフィーを用いて、切り出し溶出後、各糖の定量を行って簡単にその比率を求めることができた。次はノコギリコクヌストという穀物につく昆虫のその卵の加熱処理による孵化停

止の温度と加熱時間を求める様な研究だった。これもガラス細管中に卵を入れて加熱処理後孵化率を見るといった実験だった。あとは他社(明治製菓)ホットケーキ製品の添付メープルシロップ膨張の原因確認の様な仕事だった。これは耐浸透圧性酵母の存在だった。他は明確な指示はなかったように思う。松木氏の会社報告書の綴りを読み、その中にクロリネーション小麦粉の研究成果があったが、あまり科学的な実験は行われていなかった。あとは松木氏の後任の仕事をまかされるのかと不安であった。

日本でホットケーキが生まれたのは、欧米で子供のおやつに各家庭にあるオーブンで焼かれたケーキ類などがあり、それを真似たものである。ただし、日本の各家庭の当時の台所は貧困で、欧米の様なオーブンはなく、あると言えばフライパン程度であった。そのフライパンでケーキを焼こうというアイデアであった。小麦粉は都合よく、水を加えて、匙で攪拌してドロドロにしたものを熱いフライパンに流しこめば中に入った膨剤が炭酸ガスを発して、小麦粉バターを膨化してくれる。小麦粉独特の特殊性である。こうしたケーキを熱いうちにおやつにして食べようというものである。

熱いうちにふわふわのケーキを食べようというのがホットケーキである。そこに多少でも砂糖でも入れれば甘くなり、バターでも入れれば香りもよくなり、何もなかった台所にケーキを焼く空間が生まれてくる。こうして日本の貧困の家庭台所に、一大旋風を巻き起こしたのがホットケーキであり、やはり

その頃生まれたインスタントラーメンと競合した。あちらには水を入れ、メンと同時にスープがお腹を膨らませた。私が入社する前にクロリネーションのホットケーキ用小麦粉の技術の話はすでに終了していたのであろう。

何やらテーマもはっきりせぬまま、森永三島食品研究室の生活が始まった。学卒でまだどの程度の研究的能力があるのかもわからぬまま配属されて来て、会社の方もどの程度の実力のある人間なのかもわからぬまま、どのようにあつかったらよいものか、少々試して様子を見ようということで基本的な仕事をさせたのであろうかとも感じられた。大卒の扱いもその程度のものであったろうか。当方はそんなことは不明ですぐにきちんとしたテーマを与えられるもの、あるいはそのような研究グループに入って研究的仕事のできるようなものとの食い違いがある様な感じがしていた。しかしともかくスタートしたのだが何やら松木氏の研究報告書など見ると、彼は小麦クロリネーションの研究に取り組み、その途中であったものを当方に続けてやれとのことのようだ。小麦粉クロリネーションについては全くその当時小生には知識はなかった。

当時の森永のホットケーキは、というと製造工場は安城工場のホットケーキミックス部門で作っていること、小麦粉は日東製粉のアルプスという薄力小麦粉を使っていること、大豆粉など副原料を多くミックスしていることなど、さらにクロリネーションには衛生上の問題のあったことから現在はそれもやってないこと、そのために副原料を入れて何とかクロリネーションに近いものを得ているなどが感じられた。商品は業界トップクラスであった様に思う。

## 2. 今さら何を研究するのか

クロリネーションは米国で1923年ごろ発明された方法で、本来小麦粉の漂白（小麦粉の色を白くする）することが目的だったが、それをやるうちにケーキに思いがけずメリットがあり、これをやらねば納得のゆくケーキが得られないというまで重要になり、米国では現在なお継続していることなどが知られた。松木氏のところにはクロリネーションのやり方の文献なども取り寄せ得られておりクロリネーションのホットケーキミックスへの添加レベル、加水量等の添加量の研究レポート等がファイルの中に

みられた。どうやらクロリネーションの代替の何らかの方法を探しているようである。この関連の研究を小生にそれだけの力があればやらせようという基本的な考えがあるようだ。しかし極めて疑惑的なやり方であり、力がなければ基礎研究ではなく、現行製品の改良研究の様なものをやらせたい様な扱いであった。私は本格的に研究を進め学位を目標にするような企業研究をと思っていたので大きな差を感じた。

松木氏の顔色を伺いながらの悶々とした富士山を見ながらの三島での生活であった。三島ではそのうち社宅からでて市内（大宮町）米山宅での下宿生活を始めた。米山のおばさんには世話になった。小麦粉の研究を何かやるようにとのことだったが、文献を調べる内に小麦粉中の特にケーキ組織に与える脂質の影響の論文が少ないことに気がついた。当時の学会では興味がなかったのだろうか。

小麦粉中の脂質をエーテルで脱脂してそのホットケーキへの影響がどのようになるのかを調べて見ようと思った。ホットケーキを1枚焼くのに100g小麦粉が必要である。そうなるのかなりの小麦粉の量をエチルエーテルで脱脂する必要がある。しかもエチルエーテルとなると危険だから大部屋の実験室内ではその儘はできないので別の誰も人のこないようなところで脱脂する必要があった。建物の3階の小さな別室で、大型のソックスレー装置を設置して小麦粉の脱脂実験を行った。この大型のソックスレー装置は新たに購入したような記憶がある。大量のエチルエーテルも同様に購入した。抽出した脂質はエーテルをエバポレートして抽出脂質として回収した。脱脂した小麦粉は広く伸ばして匂いのなくなるまで室温で乾燥した。この小麦粉を脱脂小麦粉として小麦粉量をはかり、計算してホットケーキベーキングに供した。

副原料など入れずに小麦粉、砂糖、膨剤（重曹）、酸性原料（酸性ピロリン酸カルシウム）、水のみで焼き、コントロール（未脱脂小麦粉）と比較した。やはり脂質の影響は大きく、ホットケーキの膨らみは大きく（80%）低下した。ここに回収した脂質をクロロホルムに溶かして0.3-0.4%程混合しベーキングすると、ホットケーキの膨らみの回復することが見られ、興味があつた。しかしこのような実験が会社研究にどんな影響があつたのかについては常



に疑問であった。このようなケーキ類に、全く卵、牛乳等を使わない薄力小麦粉の脂質研究は当時の Cereal Chemistry 誌などでも皆無であったと思う。

さらに抽出した脂質を小さなケイ酸カラムをたてて、そこにクロロホルムにとかしてチャージしその後、クロロホルムで溶出した区分とメタノールで溶出した区分に分け、夫々をクロロホルム区分、メタノール区分としてシロップにして回収した。クロロホルム - メタノール - 水 = 65:25:4 の薄層クロマトグラフィー展開後ヨード発色し、極性区分（メタノール区分）と非極性区分（クロロホルム区分）とに分かれていることが確認された。各々を脱脂小麦粉に添加してホットケーキベーキングすると、極性区分（Polar Lipid）のみがホットケーキのふくらみの回復に効果があり、非極性区分は全く回復が認められず、しかも極性脂質回復には脱脂小麦粉 100g に対し 200mg の極性脂質で回復した。その後 Cereal Chemistry に投稿して論文化してある。脂質抽出はエチルエーテル以外水飽和ブタノールでも行ったが、一度脱脂した小麦粉は、脂質を添加してもエチルエーテル脱脂小麦粉時の様な膨らみの回復には至らなかった。この研究は上司にも相談せず黙々と進め、上司はそれを黙認してくれていた。相談の仕様がなかった。相談しても企業の仕事との接点がわからなかったからか。基礎研究という事で、あるいは自ら方向もわからずにすすめた。

### 3. 小麦粉クロリネーションの研究

ホットケーキのねとつきの研究はどうしたらよいものか、松木さんから W. F. Sollar の小麦粉分画の研究、再合成ベーキングによる研究、クロリネーションとの関わりの研究の Cereal Chem の論文が数報あることを知らされた。この方向に当方の研究も進めねばなるまい。そのころ高等学校卒（沼津工業高校）の男子、近藤君が私のもとにくることになった。松木氏のご尽力だったか。こちらは黙々と実験を進めるのみであった。そのころ小麦粉分画用の大型の遠心分離機が研究所に入ってきた。これも松木氏の力によるものであろう。近藤君とともに小麦粉を酢酸分画して水溶性区分、グルテン区分、プライムスターチ区分、テーリングス区分の四区分に分けるやり方で、これは W.F.Sollar の論文に基づいて作業した。多量の小麦粉を大型の遠心分離機を使って近藤君と連日進め、三区分、即ち水溶性区分以外は粉体

にして、水溶性区分は減圧濃縮した。減圧濃縮装置は確か仙台の佐々木ガラス店から購入して研究室の中にセットして研究を薦めた。

広い研究室、大部屋の中、メンバーの目にはどう映ったか。松木氏、増田所長の新しい研究の方向性だったと思う。そんなことは知らないのは私のみだったか。そこまで理解はできなかった。

アルプス小麦粉の分画の比率がわかると、それらを組み立てて再合成ホットケーキベーキング試験に進む。なかなかオリジナルの小麦粉にはホットケーキベーキング結果、膨らみ、ねとつきが得られなかった。合成粉でベーキングしてもオリジナル小麦粉によるホットケーキの様な膨らみが得られなかった。いろいろ考えるうちにいくつかの点が上がって来た。

ミキサーの中に分画区分のプライムスターチ区分（PS 区分）、テーリングス区分（T 区分）、グルテン区分（G 区分）の粉体を一定量入れ、砂糖、膨剤（重曹）、酸性原料（酸性ピロリン酸カルシウム）を入れて、そこに濃縮した水溶性（WS）区分を加え、さらに不足している水を加え、一定スピードの攪拌を行い、できたバッテリーをパンケーキ皿に取り、オーブン（200℃）中で直ちに焼くというやり方であった。攪拌方法、ベーキング方法、仕込み方法は全てコントロールと同様であった。ふくらみはコントロールに比べて 80% ほどに低下し元のホットケーキには回復しない。やはり分画したものは粉体にしたものを単にスパーテルで混ぜるだけではホットケーキは復元しないことは明らかであった。

幾つか工夫の必要があった。まず混合粉によるバッテリーは酢酸臭が多少あること、分画時の酢酸が多少残存しているのか。バッテリー中には、コントロールの様な粘り気が低いことなどであった。

- (1) バッテリーの pH を測定すること、酢酸を使って分画したためか。酢酸が残存し、その匂いがあったことから pH を NaOH で中和したところ、回復の傾向を示したこと。
- (2) バッテリーを顕微鏡で見て、コントロールバッテリーと比較するとグルテン粒子のかけらが多く見られ、コントロールの場合のバッテリーとは大きく異なった。グルテン区分はコントロール時の様な単純の攪拌では駄目で、顕微鏡下でグルテンのかけらが消失して行くほどミキ

サー中で激しく攪拌すると次第にバターに粘りが出た。

- (3) 加水量を多少コントロールよりも多量にした。加水量は色々変化させもつともよい加水量を見出した。これら3点を守ってホットケーキベーキングを行うとオリジナル小麦粉のものに近いものができた。

この方法を用いてクロリネーション小麦粉と未処理小麦粉の各分画の入れ替え実験を進めた。始めに未処理、処理（小麦粉 pH5.3 のクロリネーションレベル）の小麦粉を分画して、未処理小麦粉分画区分の合成粉の1つの区分のみクロリネーション小麦粉から得られた区分におき替えて実験をすすめてたら、変化が見られた。さらにクロリネーションレベルを変えた小麦粉からの分画区分を取り出し、未処理合成粉の中にそれをはめていった。

その結果、未処理小麦粉区分による合成粉にクロリネーション小麦粉の PS 区分を入れ替えるとホットケーキは処理小麦粉のホットケーキの状態に復元した。即ちベーキング後ホットケーキ加圧後の膨らみの回復が見られた。ホットケーキの弾力性獲得が PS 区分のクロリネーションによるためであることが推察された。多くのクロリネーションレベルの異なる小麦粉を酢酸分画し、各区分を集め特に PS 区分は未処理小麦粉からの他区分と組み合わせて合成粉によるホットケーキベーキングを繰り返し、その弾力性の変化に着いて検討した。しかしその数値化がどうしても得られず、官能試験になった。その後、道具を工夫して数値化するようになったが当時はまだそこまで至らなかった。食品研究の場合、食感の数値化を、機器類を用いて行うことが難点であり、それらしい装置はあるが、具体的な製品の数値化となるとなかなか合致せず困難で、それなりの数値を工夫せねばならぬところが難しいところである。0.2, 0.4, ---2.0 (塩素 g/小麦粉 kg) と詳細にクロリネーションした小麦粉から PS 区分を集め、他区分は未処理小麦粉からのもので合成粉を作りベーキングを繰り返した。何れもクロリネーションの効果が認められた。クロリネーションレベルをあげるに連れてホットケーキ組織の弾力性は次第に生じ、ねとつき感は消失した。

グルテン区分はホットケーキの膨らみに関与の傾向が見られ、あるクロリネーションレベルになると

容積は上昇し、それ以上になると容積は低下した。T, WS 区分については何れの傾向も見られなかった。

PS 区分がクロリネーションによる改良の大きな原因であることは W. F. Sollar の論文にもあったが、そこではねとつき、弾力性の改良ではなく膨らみの改良とのことであったか？クロリネーションで膨らみによくなるということだったか。当方とは、少々異なる点である。PS 区分とは小麦デンプン大粒区分を集めたもので直径約 20  $\mu\text{m}$  のデンプン粒を集めた部分であり、形は横から扁平な凸レンズ状に見え、上からは円形に見える。麦類には生合成のルートの異なるこの大粒（A 粒）区分とは別の小粒（B 粒）があり、サイズは大粒の 1/10 である。約 2  $\mu\text{m}$  である。こちらの粒形は球状である。小粒は T 区分の一部となる。

クロリネーションの効果はこの大粒の変化である。しかし未クロリネーション小麦粉から得られる PS 区分の大粒とクロリネーション小麦粉から得られる PS 区分の大粒とは全く相違ない。何が原因でこの様な効果が見られるものかその形状をみただけでは全く不明である。

デンプン粒はアミロース、アミロペクチンの高分子が極めて整然と並び結晶構造を作り、強固な貯蔵物質である。これが水を加えられ、加熱されると、水をすって構造はゆるみ、強い粘性を示し、一部は粒子から離れるいわゆるゼラチン化、糊化を複雑に生じ全く石塊状のものから糊状に変化する物質である。この物質がクロリネーションによりホットケーキになるときにケーキ組織に弾力性を与えるように変化するのはなぜか？何が具体的な原因でそうなるかは全く不明であった。ホットケーキの場合、水を加えてオープン中で 200°C 付近まで加熱し、糊化すると言ってもご飯のように完全な糊化は起こってはいないはずだ。

顕微鏡でホットケーキの組織を見てもかなりデンプン粒形はその形を保持していることから、クロリネーションの影響はデンプン粒の表面の多少の化学的变化によるものであり、アミロース、アミロペクチンのグルコースユニット高分子への大きな変化は考え難かったが、それも単なる推測にすぎない。データは全くない、途方にくれた。

デンプン粒の表面といってもアミロース、アミロ



ペクチンの構造で粒形を作っているだけで、坊主の頭のようにその表面には何もなく、グルコースユニットの集合体というのがデンプン粒の表面という認識と当時は考えられた。デンプン粒が構造と言えば粒子の構造の成り立ちが中心でありそれ以外はないというのがこの世界の趨勢であり、このクロリネーションの化学の特にホットケーキ改良のクリテカルな PS 区分の変化については全くよりどころがなくどうしたらよいか手が出ない。何も取りかかるよりどころがないのが現状であった。誰に助けを求めたらいいのか、大学出の数年目の若輩にはそのよりどころもなく、悶々とする毎日であった。

クロリネーション小麦粉から取り出した PS 区分、未処理小麦粉からの PS 区分の差異を、デンプンテキストブックの分析方法をよりどころに、片っ端から調べ、その相違点を探して行く実験を行った。しかし全く変化が認められない。この PS 区分の変化がホットケーキ改良効果とは全く関係はないのではないかと自信がなくなってくる。どうしたら良いものか。どうしたらいいかは誰も教えてくれない。当時静岡大学の助手で静岡に赴任していた東北大農産利用研究室先輩の加藤宏治先生が、三島に立ち寄られた時に、ともに食事の時このはなしをして何かアドバイスをと願ったが、クロリネーションのレベルを細かくとって比較するのがよいと言われた。有り難かった。また、東北大、恩師松田和雄先生を仙台に訪ねた時、それならこれが参考になろうと書架から取り出された1冊の小冊子、米国のPurdue大学Whistlerの書いたクロリネーションデンプンの論文の小冊子だった。

Whistlerは有名な糖質学者でPurdue大の先生だった。松田先生とは連絡があったのだろうか。Whistlerはクロリネーションによるアミロペクチンの高分子構造中の変化等をこと細かく研究していた。やはりアミロースがクロールで分解し、その切れっ端がアルデヒド化したりしている様子が記されていた。やはりこの方向で再び調べてみる必要があるかとも思われたが、これ迄のところではこのような現象は当方の研究では見当たらなかった。

あっても分析方法が違っていたのであろうか。さらに研究室にもどり考えてみる。当時は自分の研究者として能力、実力が不足していて、周囲に誰も相談する人もおらず、混乱し、誰かにヘルプを求めて

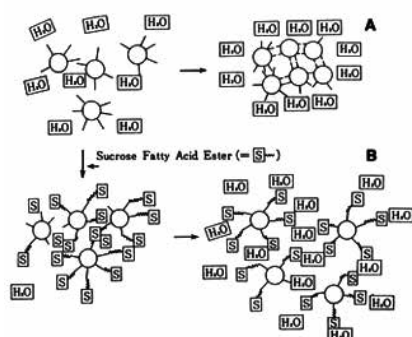
いた。25才頃か、何とかしたいとクリティカルなポイントに自分が存在して、精神的にもバテていたかもしれない。

クロリネーション小麦粉からの PS 区分と未処理小麦粉からの PS 区分を比較するうちに興味あることが見られた。粒子表面の観察を顕微鏡下ですめている時、水中に懸濁した PS デンプン粒を見てみると粒子と粒子が接近すると何らかの力が働いていることに気がついた。クロリネーションした PS 区分にである。そこでホールスライドグラスという微生物のガス発生をみる小さなガラス器具があるが、これはスライドグラスの中央部の凹んだものである。微生物がガスを発生すればそのくぼんだ中央部に入れられる液体中にガス泡が見られるという訳である。

このガラス板を使って実験を進めた。一視野に数十個あまりのデンプン粒が分散するように懸濁してカバーグラスに1滴付着し、これを反転してスライドグラスのくぼんだ所にガラスとその1滴が付着しない様にセットする。デンプン粒は自重でその一滴の中心部に向かって落下してゆくそれを上から顕微鏡で見わけである。こうしてデンプン粒を観察するとクロリネーション処理した PS の場合デンプン粒子は接近すると磁力で引き合う様に吸着した。ある種の力で引き合う力が働く。しかもその粒子表面には接合するポイントがあるのか、都合が良くなるとスッと引き合う。そうでない場合は粒が回転してその位置に至ってはじめて結合するという具合で、最終的にはそのまま液滴の中心部に落ちてゆき底部に集中する。その数秒間の粒の動きが見られ、これはクロリネーション未処理デンプン粒では観察されなかった。クロリネーションのレベルが上がるほどその凝集の傾向は大きくなった。どんな力で粒同士が凝集したのかは不明であった。

そのクロリネーション PS 区分の凝集は、そこにシヨ糖脂肪酸エステル (SFAE) を添加すると消えた。シヨ糖脂肪酸エステルは脂肪酸とシヨ糖をエステル結合したもので、界面活性剤として使われている。本来デンプン粒表面にはブドウ糖のポリマーが存在していれば当然ブドウ糖のもつ OH 基がたくさん存在し、これは HOH (水) と極めて仲の良い性質で親水基と呼ばれるもの、従ってデンプン粒は親水性であり、シヨ糖脂肪酸エステルはシヨ糖のもつ

-OH 基と脂肪酸の-OH をはじく（疎水性）分子が一体にある物質で、親水性と疎水性の両方を一体にもつ物質で油と水を乳化する力が大きい。



- A: O はデンプン粒、表面の-はクロリネーションで生じた疎水基。H<sub>2</sub>O は水分子。疎水基同士が引き合ってクロリネーションしたデンプン粒は凝集する。
- B: S はショ糖脂肪酸エステル。S の疎水基とクロリネーションで生じたデンプン粒表面の疎水基とが引き合う。このためクロリネーションしたデンプン粒の凝集は消える。

これを顕微鏡下のクロリネーションデンプン粒の凝集しているところに添加するとデンプン粒の凝集性が一挙に破壊されて元の未処理デンプン粒の挙動にもどる。これは凝集適性がクロリネーションデンプン粒表面に疎水基が生じたためで、その疎水基同士が集合して凝集した。そこにショ糖脂肪酸エステルを添加して疎水域に脂肪酸部分が結合し、デンプン粒表面には、ショ糖の親水部が現れ再び未処理デンプン粒表面と同様になったものと思われた。従ってクロリネーション処理でデンプン粒（PS）表面は疎水化に変化したものと思われた。それがどのようなメカニズムかは不明であった。

再合成粉のうち PS 区分のみクロリネーション小麦粉からのものは、ホットケーキの弾力性に回復が認められたが、そのホットケーキの合成粉バッテリーにショ糖脂肪酸エステル添加するとこれまで認められた弾力性の回復は消失し、再び強いネトツキ感（非弾力性）を示した。このことはクロリネーションによる弾力性の発生は小麦粉中のデンプン大粒区分の表面が疎水的になることが原因であることが推察されたのである。この他、クロリネーションレベルをあげながら小麦粉のブラベンダーアミログラフ試験を行った。

その際、本来小麦粉 50g に対し水 450 mL で行うアミログラフ試験を小麦粉 150g に対し水 150mL

というようにして高濃度の小麦粉 / 水比率にして、粉の性質を大きく数値に反映し、加温せずにそのまま装置を運転した。

クロリネーション処理レベルをあげるに伴って小麦粉 / 水の粘度、BU 値はアミログラフを運転するにともなう、即ち攪拌するに伴って上昇することがわかった。これもクロリネーションによる小麦粉中ほぼ 4 割 (?) を占める PS 区分の変化、あるいはその他の理由による物性の変化による原因と思われた。

当時小麦粉研究で有名な大阪女子大学の松本 博先生を訪問する機会があり、その後の当方のデーターを逐一先生に送り相談に乗ってもらっていた。学会発表の経験もなく、これらのデーター、あるいはそれまでのデーター等は単なる企業の報告書にしたのみであり、このままこれらのデーターは埋もれてしまい、陽の目を見ない、学会でも陽の目を見ることなく消失してしまう感じがし、松本博先生もこれを大きく心配してくれた。会社からは学会発表は認めないという。これまでも若い人に学会での発表機会を与え、その儘企業から離れて行くものがいたので、私の発表なども認められないということであった。日本の学会ではなく、海外なら、海外の論文なら当方のデーターが国内では調査しないだろうから外国誌への発表ならいいだろうとのことであった。

松本博先生からも海外の論文への発表を勧められた。しかし当時の当方は、論文の書き方も見当が着かずで。しかし英文となると全くどうしたものか全く、よりどころがなかった。一級の英文誌 *Cereal Chemistry* を読みながらこれを真似してはということか。少しやっってはなかなか前進せず、やはりきちんとした訓練を、研究、論文化等の訓練を受けたいと思うようになった。きちんとした研究者のそのやり方を見たい、論文の作り方を見たい。自分には空想だけの世界ではこれは実現しないと思うようになった。

そのころアメリカの Soft Wheat Flour の研究所の世界的に有名な日系 2 世のケーキ用薄力小麦粉の研究者、W.T. YAMAZAKI 博士が奥さんと日本に来日中で、東京の新宿のあるホテルに泊まっていると松本博先生から連絡があり、彼に今までの私の実験データーのコピーを持ってホテルに訪問しろと連絡

があった。

喜んで新宿の当ホテルに英文データーを持って先生を訪ねた。新宿の大きなホテルに宿泊しておられた。快く YAMAZAKI 先生は迎え入れてくれた。松本先生から既に連絡してくれていた。英語しかできない YAMAZAKI 先生、日本語しかできない私は、自分の英文図面に基づいてたどたどしい英語で少しずつ説明していった。YAMAZAKI にしたら同じ分野のもので一目瞭然で直ちに内容は理解してくれた。

私のデーターを見て、「これはいままで見たこともない結果だ、早々に論文化しなさい」と大きな激励をいただいたことを思い出していた。

一生、先生に感謝する次第で私の後輩にもこうありたいと思うようになった。こうして松本先生から強い PUSH を受けながら自ら何とか Cereal Chemistry に論文を作成せねばならないと思って来た。

自宅にもどり直ちに松本博先生にその時の様子を報告した。松本先生はその後私と YAMAZAKI の会合のことを面白く文章に残してくれた。

以下、松本先生の文面である。

#### 4. 「松坂の一夜」

私（松本博先生）はおかしな回顧趣味を持っていて、小学国語読本の再印刷されたのを買って来て、悦に入って読んでいた。その巻 11 に「松坂の一夜」という一文。これをことさら印象深く読んだ。皆さんも 45 才以上の方なら覚えておられる方もあるかもしれない。

これは古事記をライフワークとしてこれから勉強しようとする本居宣長と、古事記研究の老大家加茂真淵（かもまぶち）の松坂での出会いを記録したもので、ラストシーンは次のように結ばれている。

「夏の世は更けやすい。家々の戸はもう閉ざされている。老学者の言葉に深く感激した宣長は未来の希望に胸を踊らせながら、ひっそりとした町並みを我が家へ向かった」何事によらず、これからことを始めようとするものには、ちょっと大げさだが本居宣長の感じた様な戸惑いを感じ、何かのアドバイスを求める気持ちが強いのではないだろうか。

このようなときに与えられる激励は身にしみてありがたく感じ、一生忘れ得ぬものになるであると思

われる。私にとって 25 年前の阿久津先生、藤山先生との出会いは実に有り難いものであったと今もしみじみ思う。宣長の様な偉い人に自分を例えるのもおこがましいが、凡人であればあるほど、先人のアドバイスは尊いものとなる。

1975 年（昭和 50 年）の秋、アメリカ農務省の研究者で、日系人の 2 世ウイリアムヤマザキ博士が来日した。この人は軟質小麦粉、特にケーキやクッキーの理論的な研究においては、世界では右に出る人がないと言われるほど多くの業績をあげている人であるが、私はこの人に日本のある人を紹介した。この人はホットケーキの研究に人生をかけると思われるほどの仕事をやっている人であるが、私は密かに真淵と宣長の出会いをこの 2 人の出会いに想像した。日本語がうまくしゃべれないヤマザキ博士、英語がうまくしゃべれない A さん、この会見がどのように進んだかはわからないが、A さんの用意した英文の図表によって共通の話題は十分にこなされたに違いない。この会見のあと A さんからかかった電話の声が弾んでいたところを見ると、私の企みは成功したと思う。これでまたホットケーキをライフワークとする人ができた。

企業もこれからはパンをライフワークとする人を増やすための援助をしてほしい。若い人も何かに自分を打ち込むことをやってみては？人生は実に楽しくなる、私の年齢も、私が若いときに出会った阿久津先生や藤山先生のそれになった。このお二人ほどの強い影響力は持ちあわせておらないのは残念であるが、私も若い人々と共にライフワークのパンの研究を続けてゆきたいと思う。

#### 5. 生化学研究室

そのころ森永から米国ロッシェ研究所に長く留学していた堀西博士のために生化学研究室が設置される事になり、研究者を集めている事を耳にして研究内容共々堀西博士のもとで米国の研究のやり方、研究ノートの付け方、デスクッション、論文の書き方等をみるチャンスであろうと思われそちらへの移動を希望した。

昭和 49 年（1974）には鶴見の生化学研究室に移動した。アメリカの研究室での研究ノートのつけ方、研究体制、研究のやり方をそのまま日本に持ち込んだきらいがありそこにとびこみ、多少のギャップを

感じたが大いに刺激を受けた。研究ノートの付け方、研究内容の定量的な捉え方をこれまで知らなかった世界であり、移動は正解であった。

まだコンピューター等の電子化はなされてなかったが、秘書を使って研究結果は逐次英文化し、投稿された。彼の論文作成それを横で見て、英文論文の原稿がタイプでできあがって来るとそれを繰り返し読み直し、記憶する程読み直し、なるほど英文論文はこうにして作られるのか。データーはこうにして扱い、論文化するのかとそこで学んだ。堀西博士が途中数ヶ月アメリカに行き、研究室がその間途絶えた時期があった。丁度いい機会と思い、これまでの小麦粉研究の論文をデーターにもとずいて作成してゆき、Cereal Chemistry に3報投稿した。厳しい審査があり、数回レフェリーとのやり取りもありACCEPTとなり、こちらの研究室に来て良かったと思った。論文は三島での上司、松木氏との連名であった。生化学研究室にきていたバングラデッシュ出身のラシド博士は英語も巧みで、彼に論文の英文を見てもらい、これも大きな助けであった。その後、堀西博士帰国後、私の三島での仕事の論文化を報告し、喜んでもらえるものと思ったが、あまり好意的ではなかった。そのころ大阪女子大学の松本博先生から、企業研究では限界があるから大学の研究機関への移動が勧められた。さらにアメリカへの留学も勧められた。

## 6. 京都へ移住

1981年には森永を退社して、京都の聖母女学院

短期大学に移動した。将来は四大に昇格というカトリックの短大であった。東北、東京の関東圏の生活から関西圏への家族引き連れての移動であったが、松本 博先生、私の親父等は強引にどしどし押し進めるアドバイスであったが、今思うとやはり戦前の人、男は強い、判断力、行動力であると思われた。

生化学研究室では aminoacyl transferase の仕事をすすめたが、堀西博士の不在中にウシ精子中の aminoacyl transferase を発見して、これもほぼ発表直前まで論文化していたが、堀西博士帰国後この話しは消えてしまい、私の退職後、グループの同僚が単独論文にして発表していた。企業の仕事だから仕方ないだろう。

京都に移り、小麦研究はすすめられた。学位取得を目標にしてこれまでの研究を続けた。聖母女学院短期大学の学生指導、講義、教員生活、これもまた、企業内のこれまでの研究とは大きく異なり、大きな齟齬を感じる生活となった。しかし短期大学では先輩の先生方を見様見真似で吸収し、多くの講義等こなしてゆき、宗教（カトリック教育）教育なども新しい世界でどん欲に吸収できた。

今まで知らなかった教育界の仕事、若い女性への教育の仕事に関わり、その後神戸女子大での研究、教育のための大きなステップとなった。これまでの第一歩から周囲より受けてきた影響に対し、御礼の言葉もなく足蹴で乗り越えて来たのは不遜であったのではないかと胸苦しい。いい機会ではあったが、そんな気がした。



## 第2章 小麦粉と私

### 1. その後の小麦粉クロリネーションと乾熱処理

さて小麦粉、クロリネーションの仕事は其の後どうなったか。小麦粉のクロリネーションに代替する論文は英国の研究に見られ、小麦粉をドライヤーの容器中に入れ、回転しながら外部からガスバーナーで加熱するというやり方の論文であった。この方法でクロリネーションに変わる食感が得られる、容積変化が得られるというのだろうか、どのぐらいの乾熱処理なのかその乾熱処理の範囲が大きすぎて見当もつかない。ホットケーキ用小麦粉を乾熱処理するなどとは、全く闇夜に鉄砲の如く見当がつかない。何やら論文中にはベーキング結果以外にジメチルスルフィド (DMSO) を用いてその相関性を見ているデータもあるが、あまり役に立たない。しかし乾熱処理はクロリネーションと違って安全衛生面の点から興味深いものであった。

当方のホットケーキの弾力性とクロリネーションの関連は PS (小麦デンプン大粒) 区分のデンプン粒表面の疎水化との関連性が認められた。デンプン粒表面の疎水性 (親油性) が生じるとホットケーキの弾力性が獲得されるわけであった。そうならば乾熱処理でホットケーキ組織弾力性が得られるならば、乾熱処理してもデンプン粒表面が疎水化しなければならないはずだろう。小麦デンプン大粒 (PS) 区分がクロリネーションではなく乾熱処理で表面が疎水化するはずである。そうならばホットケーキに弾力性が生じてもおかしくないはずである。逆に言うと、PS 区分の表面が疎水化しなければホットケー

キの改良効果が得られる事はある得ないという事になる。従って小麦粉処理、この場合乾熱処理として水を入れないで糊化しない加熱処理方法であるが、この方法でも小麦デンプン粒表面に疎水化が起こり、ホットケーキベーキングの改良効果が生じるはずである。この仮説に基づいて実験を進めた。小麦デンプン大粒区分 (PS 区分) をどのように乾熱処理したら良いか不明である。そこでシャーレに少量の室温で乾燥した PS 区分をとり、これを一定温度の乾燥機中に一定時間放置後、室温に戻しこれを試験管に入れ、水を加え、オイルをさらに加えて激しく攪拌してデンプン粒の親油性を測定した。温度は室温、80, 90, 100, 110, 120, 130, ----- で 150℃ 付近まで、放置時間は 30, 60, 120, 180 分ほどとした。勿論未処理の時は水中でオイルを加えて激しく攪拌後も放置すれば試験管中でオイルは水の上に浮く、デンプン粒は水中に沈む。三者ははっきり分離する。デンプン粒は疎油性、親水性である。ところが乾熱処理にて 80℃, 120 分頃からデンプン粒は親油性を示し、オイルに結合して、オイルが多くなるとオイルの浮力でデンプン粒は全て水の上に浮き、オイルが少ない時にはオイルはデンプン粒に結合して全て水中に沈んだ。乾熱処理により、デンプン粒は疎水性に変化したのである。これには驚いた。

デンプン粒表面にはオイルが結合したのである。しかし色々試験するうちに必ずしもオイルに結合しない時があり、実験の再現性が不確実になり、エラーだったかと思われた。



しかし乾熱処理にとりかかるデンプン粒の水分含量が大きな鍵であり、水分含量を測定し、殆ど水分の無い様なデンプン粒は乾熱処理しても親油性は生じない事がわかり、少々湿らせてから乾熱処理したところ強い親油性が発生した。何れの場合も勿論デンプン粒は全く糊化しておらず顕微鏡的には粒の形状の変化は生じない。

## 2. クロリネーションの効果とは

クロリネーションしたPS区分の示す疎水化（親油化）は、デンプン粒表面のタンパク質をタンパク質分解酵素（ペプシン、トリプシン、キモトリプシン等）で処理するとその親油性が消えた。さらにプロテアーゼ処理したデンプン粒はクロリネーションしても親油性は認められない事からデンプン粒表面のタンパク質がクロリネーションで親油化を示したものだと思われた。デンプン粒表面のタンパク質を集めて、未処理、処理のタンパク質パターンを検査する様な研究システムは当時の研究室には無く、またそうしてもレベルの低いクロリネーションではつきりクロール化にタンパク質がその正体を表すかどうか極めて技術的には困難と思われた。

クロリネーションした小麦粉からPS区分を集めそのクロリネーションのレベルを上げたもののオイルの結合性を調べると、クロリネーションによって次第に親油性の増加する事を認めた。

さらにデンプン粒表面の塩素原子の吸着を元素分析法によって確認した。さらに水に非常に溶けやすい牛血清アルブミン（BSA）のFRACTION Vのパウダーに塩素ガス処理を行い、アルカリにとかしてUV紫外線吸収スペクトルを見ると、OD280nm付近の吸収に異常な変化が認められ、塩素のチロシン残基への吸収が推察された。

BSAは非常に水に溶けやすいため、シャーレに水に溶かしたBSA溶液を入れこれを扇風機で乾かし、再び加水すると直ちに可溶化する。この通風乾燥したところに塩素ガスを吹き込み、しばらく後、加水するとBSAは可溶化する事無く、極めて薄膜として水中に浮かぶようになる。

そこでアミノ酸（20種）のキットを用いて、各アミノ酸パウダーの少量に各々クロリネーション（クロールガスを吹き込む）処理を行ない、アミノ酸のペーパークロマトグラフィー試験を行うと、二

重展開後ニンヒドリン発色を行ったところ、リジン、チロシン等のペーパークロマトグラフィーに新しいスポットが発見され、クロリネーションレベルをあげるとリジンなどの新しいスポットの発色が強くなり、オリジナルのスポットは小さくなった。チロシンでは2点新しいスポットが見られた。チロシンでは同様ハロゲンのヨードチロシン2種は市販されており、これらをクロリネーションするとモノヨードチロシンはジヨードチロシンと同一RF値の新しいスポットが現れた。ジヨードチロシンは新しいスポットは現れなかった。ヨードの結合している同一部位にクロールがはまっているようで、ペーパークロマト的には何れも疎水的のアミノ酸に変化している事がわかった。

塩素がタンパク質に入り込んで疎水化を示し、このタンパク質がデンプン粒表面にあり、デンプン粒の親油性を示す事が明らかになった。

ここで問題になるのは本来デンプン粒表面にはタンパク質などは存在しないというのが常識であったが、こうして考えるとタンパク質の存在は本当に存在しないのかが疑問に思われてきた。

1987年11月1日アメリカナッシュビルで第72回AACC（American Association of Cereal Chemists）大会が行われ、ポスターセッションにはじめて出席参加した。小麦デンプン大粒（PS）区分表面のタンパク質の存在有無の論文であった。小麦デンプン粒表面にタンパク質が存在するものとして何とかこれを証明したいと思い、工夫を重ねていた。例えばタンパク質色素によるデンプン粒の染色である。色々なタンパク質染料が存在していて、これらで片端から染めていった。試験管に少量のPSをとり、ここに水に溶かしたタンパク質染料を加えて激しく攪拌し、その後水で徹底的に洗浄して余分な染料を除去して染液が着色しなくなるまで洗った。其の後デンプン粒は各々に染色し、これをシャーレ上で乾燥して着色したデンプン粒をみてこれなら証明できるだろうと自信を持った。しかし顕微鏡で拡大して見ると、デンプン粒表面の着色は顕著には見えない。感度が低いのだろう。もっと高感度に顕微鏡ではつきりみる方法はないか探した。アメリカの研究者の微量タンパク質定量の実験に、蛍光染料（フルオロスキヤミン）を用いてタンパク質があれば蛍光を発生

する微量タンパク質定量を行う方法があった。このフルオロスキヤミンはタンパク質が存在するとそれと反応して蛍光を発するというものであり微量タンパク質がデンプン粒表面にあれば蛍光を出すであろうと実験した。

しかし蛍光顕微鏡はどこにあるか？これを探さねばならない。大学の同期の宮本力君が鎌倉のロッシェの研究所にいて、彼に電話して、やってくれることになり、蛍光化したデンプン粒を作って彼に送った。しばらくしてもどってきたカラー顕微鏡写真の数々には驚いた。デンプン粒表面が輝いていたのである。デンプン粒表面に存在するタンパク質はフルオロスキヤミンと反応して蛍光を発した。これはデンプン粒表面にタンパク質のあることの証明であった。この写真を拡大してAACCでのポスター発表を行ったわけである。当日ぞろぞろ多くの人が集まって来て私の発表ポスター前に陣取った。ポスターには英文で研究方法が書かれているので、それらを当方から説明する必要も無く、しかし横で質問を受けた。横で私のデータを中心にしてDiscussionする若い米国研究者達の姿を見てその内容は聞き取れなかったが、雰囲気は大いに感じた。後日彼らの中心のヒトの名前がわかり Waniska, Hamaker, Jackson 等いずれも著名な若手研究者で、テキサス州立大学はアメリカのトウモロコシ等の研究で有名な所の若手の研究者達で今になって色々雑穀の調査をするときよく彼らの論文が出てくる名前の人たちであった。その中にいたメキシコの女性研究者には翌年の Starch Round Table 大会で会う事ができ、昨年は大学へもどってから私の話で大変だったとの事を聞いた。

また、帰国後ある方から手紙をいただき、私のあの蛍光発するデンプン粒の写真をスライドにして送ってほしいとのことであった。すぐに送ったが Kansas 州立大学の著名な Seib 博士だった。さらに Purdue 大学の BeMiller 博士から手紙をもらい翌年の Starch Round Table での講演依頼であった。日本では私の所属する小さな短大ではそこでの仕事は評価されないが、米国ではどこに所属するかは全く関係無く、持っているデータで評価されるようであった。これが平等だろう。日本の農芸化学会でこのようなデンプン粒表面のタンパク質の存在を講演したが、事前の私のアブストラクトを読んで、私

の講演担当の座長が講演の直前に私のところにやって来て、このような話はしない方がいいよとアドバイスしてくれた事には驚いた。アメリカのオープンな学会ではこのような事はない。自分で温めたデータは日本の学会より欧米の学会の方が正面から取り扱ってくれると実感した。クロリネーションによるデンプン粒の疎水化は、他のデンプン粒（例えば、コーン、イモ、オオムギ、米など）でも同様の処理したが、いずれもレベルの差はあるが親油性を示した。ほぼ表面タンパク質によるものと思われた。さらにクロリネーション小麦デンプン粒の疎水性がホットケーキの組織弾力性どのような関連があるのかを考えた。

### 3. デンプン粒表面の疎水化とホットケーキ組織の関係

デンプン粒表面が疎水的になり、ケーキ組織中には膨剤から発する  $\text{CO}_2$  のガス泡は PS 区分と接触する。ガス泡は表面が疎水的で水にとけずにガス泡として存在する訳であるから、このガス泡は疎水化した PS 粒によって包みこまれて泡の安定化の方向に向い、ホットケーキの組織安定化と関連があるだろうと考えた。泡とクロリネーション小麦デンプン粒とを混合した場合、生じる泡は安定化するかどうか。なるべくシンプルな系で証明したいと考えた。泡は水を激しく攪拌すると生じるが直ちに消えてしまう。

泡には起泡剤、気泡安定剤が必要で、この水だけの泡はすぐ消えてしまうので起泡剤が必要になる。鉱石を集める際、主要なものを集めたあと、くずの鉱石が多く出る。これを回収するのにこの鉱石の表面の疎水化を利用して起泡剤（イソアミルアルコール等）を入れて激しく攪拌し、泡をたて、関与しているものは泡に結合させて、くず鉱石を集める事が行われている。これを用いてみよう。

試験管の中にクロリネーション処理デンプン粒と未処理デンプン粒を各々入れ、水を加え、そこにイソアミルアルコールを入れ、激しく攪拌する試験をした。未処理デンプン粒の方はすぐに泡も消えた。そして試験管中に沈殿したが、他方はクロリネーションレベルを揚げるに連れて気泡を安定化して泡は残ってゆく。短時間のうちにその傾向は認められた。写真撮影して写真から泡の高さを測定してクロリネーションの効果調べた。クロリネーションに

よって泡は安定化の方向にあった。このクロリネーションによる疎水性デンプンによる泡安定化の傾向は、其の後乾熱処理で得られた疎水性小麦デンプン粒でも同一の傾向が認められた。疎水化が膨化食品の組織安定化に関与している1つの証明と思われた。

さらに、クロリネーション小麦粉はこれを酢酸分画法で分画するときこのデンプン粒の疎水化の影響かとも思われるが、クロリネーションのレベルを上げてゆくと、しだいにPS区分とT区分が同一遠心分離条件で、分離しにくくなる事が観察された。PS区分がT区分に反応して遠心分離しなくなるのであった。これもホットケーキの組織を強固なものにする原因かと思われた。やはり乾熱処理小麦粉でも同じ傾向で、疎水化が強くなるに共なってPS区分とT区分の分離が困難になってゆく。

ホットケーキの弾力性も測定方法は指で一部を押しつけてその指を外した時の戻り具合で判断するという官能試験だったが、これを何とか数値化したいものだと感じた。

測定法は、オープンから出してすぐ熱いうちに先ずホットケーキの容積を測定する。続いて重しで全面30秒加圧後、その重しを外して潰れたホットケーキの容積を測定する。焼いた直後のホットケーキとつぶした後のホットケーキの容積の比率(%)を求め、これをこのホットケーキの弾力値とした。こうして測定するとホットケーキの一部を押してホットケーキの弾力性をはかるのとは別に定量化でき、同条件下のホットケーキの弾力性は極めて高い再現性のある事がわかった。以後この方法で処理小麦粉のデーターとした。この辺までが私が単独で進めた実験であり、森永、三島～京都、聖母短大の仕事であり、これらを論文にした。東北大学から農学博士が与えられた。

#### 4. 神戸女子大学での研究

神戸女子大学に移動し、しばらく酢酸ガス処理小麦粉による製パン性改良試験を続けた。この研究は当時大学院生だった林真千子氏が中心になって行われ、本人の学位論文にまで至ったものである。

神戸女子大学に移ってしばらくすると、学園(大学、短大)の助手に学位取得のチャンスが生まれた。本人の研究日あるいは、土、日の休日を使って研究

に専念し、5年間に働きながら博士の学位がとれる様にしようというものであった。このチャンスにと神戸女子短期大学の小澤美貴、中村智英子助手が私の研究室での学位取得を目的に希望して来た。本人たちは全く自らの考えるテーマはなく、何をやらせようと考慮したが、やはりホットケーキ用小麦粉の乾熱処理による改良メカニズム関係、さらにその後大学近辺の増田製粉所からのカステラ小麦粉のエイジング改良メカニズムの解明のテーマがやりやすいのではないかと考えて、前者は、小澤氏、後者は中村氏中心に研究を進める事になった。

両者とも極めてまじめで、研究熱心な女性であり、好感が感じられた。数年の研究を神戸女子大で行ったが、何れも集中力もあり、本学従順の行吉哉女先生の人作りの賜物と思われた。

薄力小麦粉の種類を、宝笠ゴールド、フリアン、特宝笠ゴールド、アオコマ小麦粉と選び、これらの粉を使って先ず両者協力して各種乾熱処理レベル小麦粉を作り、夫々の小麦粉の性質を調べた。1つはB. Amylographによる乾熱処理による粘度立ち上がりの早期化と最高粘度値の上昇であった。これらは何れも予想通り、乾熱処理条件を上げるに伴って粘度立ち上がりの早期化と最高粘度上昇の傾向が認められた。

次に大変労力と時間のかかる小麦粉の酢酸による分画実験であった。2人で協力して数年かけて各処理小麦粉の分画実験が行われた。小澤氏は先ず小麦粉の分画方法の検討から進めた。これまでの分画方法はワーリングブレンダーの激しい攪拌により小麦粉/水懸濁液を作り、これを直ちに遠心分離機を使って処理するわけであるが、クロリネーション小麦粉を行う場合クロリネーションレベルを上げて行くと水溶性区分、グルテン区分を除去した後、残った区分が未処理小麦粉では完全に分離したものが、きれいにPS区分とT区分に分画しない事がわかっていった。

このPSとT区分の引力は当然ホットケーキベーキング中にも起こるはずである。これがホットケーキ組織の弾力性に大きく関与している事は十分に推察されていたが、これをなるべくクロリネーションレベルとPS、T区分間の引力との相関関係をはっきりさせる必要があると思われた。この酢酸分画法をよりバッター中に近いものにしたい。すなわちあ

まり強い力をかけて PS, T 区分をきれいに分離してしまうのではなく、むしろ相互関係をはっきり見るのに都合の良い分画方法を検討した。

いままでワーリングブレンダーで激しく攪拌した各区分、特に PS, T 区分を明確に分離させる様にしたがこれをもっとマイルドなやり方で攪拌しながらなるべく相互力を残して分画しようと考えた。始めは大きなビーカー中で小麦粉/水混合物をスパーテルを使って手で混合攪拌したが、これを自動乳鉢を用いて電動式の攪拌で行った。大型の乳鉢に小麦粉 50g, 150mL の水を加え、乳棒で電動的に攪拌するのである。20 分間で攪拌し、泡も立てずにほぼ十分な攪拌をする事が出来、これを 3000rpm で攪拌して分画進めた。これはワーリングブレンダーを用いたものと比べて各比率は変化し、特に PS:T 区分のクロリネーション処理による相互作用がはっきり現れた。

即ちクロリネーションレベルをあげると、未処理では WS, G, PS, T 区分がほぼ 1:1:4:4 の比率で求められたのが WS, G は大きく変化はないが、PS, T 区分の相互作用で分離しにくくなった。これは顕微鏡的観察からもはっきり認められた。クロリネーションにより生じる PS 区分, T 区分の疎水化が両区分で関連を持ち相互が分離し難くなったものと思われた。この現象はクロリネーションによる変化を示す明らかな現象であり、ホットケーキのテクスチュアと大きく関与している現象である。即ちホットケーキ Batter 中、小麦粉に水を加えて攪拌した Batter は単なる小麦粉構成成分のミックスチュアではなく、各成分、特に PS, T 区分（全体の 8 割）区分が大きく変わり、発生するガスを抱き抱えその力が大きく変化し、組織変化したものと思われた。この現象はクロリネーションによる現象の変化を示す重要な現象であり、ホットケーキではプロダクトのテクスチュアに大きく影響している現象である。即ちホットケーキ Batter 中で小麦粉に水を加えて攪拌した時、Batter は単なる小麦粉構成成分のミックスチュアではなく、各成分、特に PS, T 区分（全体の 80%）が大きくこれまでと変わり発生するガスを抱き抱える力が大きく変化し、さらに弾力性変化に関与するはずだ。この事は乾熱処理小麦粉でも生じているはずである。なぜなら乾熱処理小麦粉中の PS もその表面が疎水的になるからである。

そこで彼女らはこれを確認するために多量の小麦粉の乾熱処理サンプルを調製して、これらをこの条件で酢酸分画実験をすすめた。クロリネーション同様に乾熱処理レベル強め、結果 PS, T の相互作用が示された。

## 5. カステラの件

乾熱処理小麦粉によるカステラ構造の変化について記述する。それを知ってか大学近辺にある増田製粉所（株）越川良樹氏が小生の研究室を訪ねられた。その製粉所は昔からカステラ粉の製造を得意とする会社、あるいはそれ以外のケーキ用薄力粉を製造する事を得意として来た製造会社で、歴史は日本でも 1-2 を争う会社である。「これまでカステラ用小麦粉の製造をやってきて、お客さんから質問が多々あり、その際に困窮しているので助けていただきたい」とのことであった。カステラ用の薄力小麦粉（宝笠ゴールド等）を製造してきた。

しかし直ちに新鮮な小麦粉を製造メーカーにもちこんでもこれでは使えないと突き返される。なぜか原因不明だが、カステラの専門家はその新鮮なカステラ粉を触ってみてすぐに良し悪しを決める。しかしその理由は、原因がわからなく困っているという事であった。ずっとこの状態が続き原因が不明であった。工場では製造した小麦粉を暫く暗所、保存性の良いところに 1 年近く放置してそれを製品として出荷する。そうすると客は納得がゆき、専門家もそれを手に触ってはじめて OK が出るというわけである。その原因がわからぬとの事である。当時我々も薄力小麦粉でクロリネーションするホットケーキ改良のメカニズムを化学的に解明してほぼデンプン粒表面の疎水化が原因だろうと追求して来た。それにかわる乾熱処理についても PS 区分が疎水的になり、多分この辺が新しい改良効果の原因であり、ホットケーキが改良させるであろうと推察して来た。

カステラの話は越川氏から伺ううちにカステラ小麦粉も同一の原因で、小麦粉のエイジング（放置）によりデンプン粒表面に何らかの疎水的な変化が生じてこの様な改良効果が出るものと想像された。このカステラ用小麦粉のエイジングによる改良メカニズムの研究は中村氏が担当する事になった。小澤氏が乾熱処理ホットケーキのメカニズム改良の研究に集中し、中村氏がカステラを担当する事になった。先ず中村氏にはカステラの効果を当研究室でも自在



に再現出来る様にするアッセイ方法の確立が必要であった。カステラ製造工程はホットケーキとは異なり複雑で、そのため中村氏を越川氏のところに出向いてカステラ製造方法を学んでもらった。カステラを焼くためのカステラオーブンは独特であるという。このため当研究室のオーブン利用の仕方の研究、あるいは不在の道具類の購入のため、数週間増田製粉所に出向した。越川氏の指導よろしく、当研究室で再現性あるカステラをベーキングする事ができるようになった。カステラは、安土桃山時代に日本にポルトガルから移入された製菓技術である。そのベーキング方法には、種比重、生地比重、90秒ベーキング、アワキリ、8分ベーキング、カバー掛け25分ベーキング云々がある。カステラの膨らみは卵白の膨らみを薄力小麦粉で安定化したもので、独特の膨らみは日本人の古来からの好みのものである。

中村氏は非常に冷静にこのカステラのアッセイ方法を確立した。再現性もある。ベーキング直後の容積は約1950mLであり、容積は次第に収縮して3時間後には一定となり1500mL(70-80%)と成る。従って実験上、カステラ製造を室温放置3時間後の容積をそのデータとした。

小麦粉の種類は増田製粉所から宝笠ゴールド、フリアン、特宝笠ゴールド、アオコマ小麦粉の4種類のサンプルを戴き、これらを用いてエージング試験を行った。その後、乾熱処理試験を同様に行いさらに各小麦粉の分画実験をすすめた。エージング試験は鉄皿中に薄く敷いて黒色のビニル袋に入れて通風のよい人出入りしない場所に一定時間放置するやり方で1年間行った。エージングした小麦粉サンプルはその都度ビニル袋に入れて-20℃のフリーザー中に使用まで保存した。強い親油性を示した条件を中心に、温度10℃上がると反応速度が2-3倍に成るというアレニウスの法則に従った温度120℃2時間、110℃4時間、100℃8時間、90℃16時間、80℃32時間、70℃-云々としてサンプルを調製した。エージングは室温、0, 2, 4, 6, 8, 10, 12ヶ月これらを放置でサンプルを調製した。

これらを何れも2-3回テストベーキングして、カステラのエージング、乾熱処理による効果を先ず確認した。カステラはエージングによりその容積は確実に増加した。さらに乾熱処理でも未処理に比較して容積は増加する事がわかった。小麦粉以外は卵は

常に新鮮なものを用いた。

こうして古来から言われて来た経験的なカステラのエージングによる組織の改良、膨らみの改良効果が確認されたのである。同時に乾熱処理によるカステラ改良効果が確認されたのである。ここにそのメカニズムを中村氏はいかなるものかを解明した。カステラ Batter を調製してベーキングに入るが、その段階で Batter のメスシリンダー容積は小麦粉のエージング、乾熱処理で何れも増加した。即ち卵白の与える泡は小麦粉により安定化するが、その傾向はエージングおよび乾熱処理で増加しているのである。小麦粉中のデンプン粒が疎水化して疎水的な泡表面に吸着して、疎水的な泡表面に吸着した卵泡を安定化しているのである。これはホットケーキの Batter の泡安定化がクロリネーションあるいは乾熱処理で得られるのと同様であった。

勿論、使用した小麦粉中のデンプン粒はエージングあるいは乾熱処理で疎水化、親油化している事は小麦粉分画実験、親油化試験から証明され、さらにPS区分、T区分間の相互作用は次第に各処理により大きく変化し分離しにくくなる。その相互作用の大きさとカステラ容積の大きさとは強い相互作用があり、カステラ疎水化改良には小麦粉中のPSの疎水化が大きな役割をしている事が証明されたのである。彼女の学会発表時、それを聞いた農水省の女性研究員が「目から鱗が外れた」と言ったのが印象的に思い出される。中村氏はこの仕事で学位を取得した。小澤氏はクロリネーション代替の小麦粉乾熱、エージング処理によるパンケーキ改良のメカニズムで学位を得た。

## 6. 酢酸ガス処理小麦粉による製パン改良効果の研究

酢酸ガス処理小麦粉による製パン性改良効果の研究は、林真千子氏によって行われた。ホットケーキ用薄力小麦粉の品質改良のために塩素ガスが効果的に用いられた。当時原因は不明であったが、確かにホットケーキの組織改良、弾力性改良などに効果があり、後にデンプン粒表面の疎水化がその原因として推察された。

パン用小麦粉の改良にはやはりハロゲンのプロメート( $\text{KBrO}_3$ )の粉体が盛んに用いられているがこのプロムはやはりハロゲンでその衛生効果が心配であった。そこでこれに変わる何らかの方法が必要



と考えられたが、林さんは酢酸ガスを用いた。

塩素ガス同様、気体が固体の小麦粉を処理するには都合よいのではと考えられた。各種ガスが考えられたが、酢酸ガスを小麦粉に処理してその小麦粉で製パン試験を行ったところ、出来たパンが製パン機のフタを押し上げるほどの膨化効果が示され、これは効果的であると本格的な試験に入った。

酢酸ならば衛生上の不安はなかろうと思われた。小麦粉 1Kg をカラムに詰めてコンプレッサーで下部から空気を送りこむシステムを考えた。途中で酢酸の入った容器をつけ一晩空気をコンプレッサーで流し続けた。酢酸ガスは全て気化して小麦粉中に混入した。

酢酸ガス処理した小麦粉はその後、空気中に広げてよく混合し、酢酸の局在しない様に均一にした。酢酸ガス処理量を変えて、サンプルを調製し製パン試験に取りかかった。何れの強力小麦粉もあるレベルの酢酸ガス処理でパン高の上昇が認められた。製パン試験は各種外麦粉は勿論のこと、内麦粉（国内産小麦粉）についても試験を行った。何れもはっきりしたパン高の上昇が認められた。製パン試験はあるレベルまではパン高は上昇したが、それ以上酢酸ガス量を増やすとパン高は低下した。松本博先生の考えたシステムを用いて研究を進めた結果、酢酸ガス処理によりイーストを活性化しよくガスを出し、それ以上の処理ではイーストは活性を失ってガスを出さなくなる。酢酸によりイーストは死滅する。小麦粉ドウに対しては酢酸ガスはドウに変化を与えて、ドウの粘度を増加した。小麦粉ドウの pH による変化で興味ぶかいことがわかった。酢酸ガスを吹き込む事で小麦粉ドウの pH は当然低下する。それに伴って小麦粉ドウの粘度が大きく増加したのである。これは酢酸ガス処理でイーストに与える影響とともにパンドウへの酢酸ガス処理による影響である。小麦粉ドウの pH は pH メーターで測定するが、粘度は pH4.0 付近で急激に変化するのである。即ち pH を 4.0 にすると粘度は大きく上昇し粘度が増加する。pH を元に戻すと粘度は元にもどる。pH の変化により可逆的に小麦粉ドウの粘度が変化するのである。しかもこの変化は非常に急激であった。この変化は酢酸ガス処理で小麦粉ドウの粘度変化が大きくなり、製パン性向上、即ちパン容積の増加に結びついてくる。その原因は小麦粉中のタンパク質への pH の影響と思われた。

こうして酢酸ガス処理によるパン高の上昇、パン比容積の増加は2つの原因であるとわかった。比較的高タンパク質の外麦粉の場合はそれ以上のパン高、比容積増加は必要ないが、内麦粉の様に低タンパク質で製パン性にむいてない場合には、外麦粉に比べ低酢酸ガス量でより高いパン高、比容積を得るには十分である。

酢酸ガス処理はパン中残存の酢酸が異臭となりトラブルであった。しかし内麦のような場合には低処理量でよいのでこの酢酸の異臭を低下させることが出来る。しかもこの異臭はパン中にバターを混入させる事で除去する事が出来た。

内麦粉の様にパンには使い難い小麦粉でも酢酸ガス処理をおこなうことで製パン改良剤として使えることが判った。林真千子氏はこの研究で学位を与えられた。酢酸ガス処理はカラム中に小麦粉を入れ、下部から酢酸ガスをふきもこむやり方なので多量の小麦粉処理には向いてない。何か新たな処理方法として、カラム全体を振動させながら空気を粉体中に流し込む方法なども考察されたが、その後この小麦粉酢酸ガス処理研究は進展していない。

## 7. 小麦デンプン粒の加工食品中の重要性

小麦粉デンプン粒の研究がずっと気になっていた。小麦デンプン粒表面をクロリネーションで反応すると小麦デンプン粒表面タンパク質が疎水化、親油化を起こしてこれがケーキなど薄力小麦粉を用いてベーカリー製品の性質に大きく影響を及ぼす事がわかったが、混合物中でのなしでデンプン粒がどうなっているのか大きな疑問点であった。当時の研究と言えば専らデンプン性食品中の糊化デンプンのはなし、そしてこの構成のアミロース、アミロペクチン、さらにそれらのグルコースやその2-3の糖類のオリゴ糖の構造のはなし、そのデンプンがどのように酵素で分解されてゆくか、その酵素は何かと言うとデンプン粒として見た研究よりも、その内部の構成成分との研究が殆どであり、デンプン粒はどうなっているのか、小麦粉製品中のデンプン粒としての役割は研究されていなかった。デンプンは当然、ばらされて粒としての性質は全く無視された定番がデンプン化学の研究現状であった。そこで当方のデンプン粒などはベーキング時にはバラバラになってアミロース、アミロペクチン、その分解物

になり、それらの研究で全て解決するということであった。デンプン粒の表面がどうなろうとあるいはベーカーリー中になってデンプン粒がどうなろうかという観点はなかった。しかし当方の様に加工食品として見た場合、デンプン粒はかならずしも粒形を留めてバラバラにならず、アミロース、アミロペクチンの話ではないと考えられた。しかしこの様なデンプン粒の話は論外視されて、日本の学会発表は異端視されたのである。しかし米国の AACC 会議ではそうではなかった。私の発表は大変に興味を持たれたのである。デンプン粒の表面のタンパク質など興味を持たれたのである。私の考えでは、デンプン粒は1個のものとして、水量も少なく、加熱程度も低い状態で先ず、加熱されても簡単には構造はゆるまず、アミロース、アミロペクチンのようにバラバラにはならないのであり、グルテンタンパク質、不溶性多糖類などの間にあって、デンプン粒の塊として存在し、その製品の食感、テクスチュアに機能するものであり、当然そのデンプン粒表面の性質には相関関係は極めて重要であり、大きいものであり、これを無視してはこれらの構造やらテクスチュアは得られないという考え方である。そこでクロリネーションで得たデンプン粒の疎水化は全く従来のデンプン粒の性質とは異なるものでこれは極めて重要な働きをするものであるという考え方である。さらにデンプン粒はどのような構造になっているのであろうかと次に以下の様に調べて行った。

## 8. 小麦デンプン粒の立体構造について

小麦デンプン粒の立体構造の3次元写真を撮りたいと考えた。デンプンは粒に水を加えて加熱すると多量の水を吸収して糊化を起こし、その立体構造は崩れて不明になる。そこで粒をそのまま崩さずに内部の立体構造を見る事ができない。そこがデンプン粒の構造研究の難しいところである。そこでデンプン粒を何らかの化学修飾して粒が水の存在下でも糊化せずその儘の形を保持して、内部を崩しながら観察したいというのが目的である。

デンプン粒をクマシイブリリアントブルーという染料でデンプン粒の着色する方法が報告されていた。この修飾により粒の性質が変化して、糊化せずに固まったまま粒の崩壊が起こればと思った。クマシイブリリアントブルー法を用いて学生が小麦デンプン

大粒 (PS) を染色した。その後乾燥して青色のパウダーとして貯蔵することが出来た。

金長和子氏は、私の実験助手として、授業、学生実験、実習の援助をしていていた。彼女は私の所にくる前に原田篤也先生の下で電子顕微鏡の訓練をしていた。本学のこの装置は古いものでコンピュータは一切使っておらず、専ら手作業のみで微調整し、電子顕微鏡写真を撮るという一昔前のものであった。この染色した小麦デンプン粒を2枚のスライドグラス中において上から指で加圧してデンプン粒を崩壊させた。このパウダー化したデンプン粒をサンプルとして金長氏は電子顕微鏡写真を撮ってくれた。

観察には長時間かけて色々な角度からサンプルを撮影した。日中は大学業務があり、集中して写真が撮れない。そこで電子顕微鏡室に徹夜で泊まり込んで撮影したい言い出した。彼女は家庭婦人のこともあり、それもどうかと思ったが、彼女の熱意に任せてやる事にした。私も自室で当日は徹夜する事にした。サンプルは種々あったが、なかなかうまく崩れて3次構造的に内部が観察出来るサンプルをさがすのに手間どった。適当な場所を見つけてあとは手でピントを合わせて行くのである。このテクニックは金長氏の独壇場ですぐには真似出来なかった。朝までかけて探し続けて多くの写真を取り、目の前に示された。粒は糊化する事なく元の粒の形の儘崩壊されており、表面の様子、内部の様子が微細に観察する事が出来た。何か予想も出来ない様に、粒表面構造の内部にはさらに別サイズの小さい粒子が多く入っている様な感じがした。数々の写真を直ちに Cereal Chemistry に投稿した。審査員も驚き納得したのであろう、直ちに ACCEPT の連絡がきて Cereal Chemistry 誌上に飾る事が出来た。

その後、金長氏は体調を崩して大学を欠勤した。早朝に父親から本人入院を電話で聞き、驚き、何か責任を感じた。丁度そのごろ Cereal Chemistry の雑誌が届き、そこには彼女の撮影した数々の小麦デンプン粒の写真が掲載されていた。私はこれを持って入院中の彼女を訪ね、「貴殿のたった写真だ」と見せたらベッド中にそれを見て泣いていたのが印象的だった。自分の仕事に感動したのだろう。

## 9. 小麦デンプン粒のゴースト化

小麦デンプン大粒のゴースト化のことを記述しておかねばならない。デンプンのアミロース、アミロペクチンを染色するのに、ヨロソヨード溶液が用いられるが、そのストック溶液として25% KI/10% I<sub>2</sub>を調製した。実際のデンプンの染色時にはこの原液を0.2% KI/0.04% I<sub>2</sub>に水希釈して使用する。

モチ小麦が農水省の山守誠氏によって作られ、社会の大きなニュースになったが、ボルチモアでのAACC大会では彼の講演を聞いたが素晴らしかった。講演後スタンディングアレーが起こり、聴総立ちになって拍手していた。日本の学会ではお目にかかれない光景であった。同席には日清製粉の長尾精一氏も列席しておられた。日清製粉はこのモチ小麦の仕事には少々関与していた様に感じられた。講演後、モチ小麦を少々欲しいが可能だろうかと思いついて見たところ、快諾してくれた。少量のモチ小麦を入手する事が出来た。小麦デンプン大粒(PS区分)を集める事が出来た。

早速このモチ小麦デンプン粒を顕微鏡下でヨード染色を試みた。その際、たまたまヨロソヨード原液(25% KI/10% I<sub>2</sub>溶液)をそのまま用いた。顕微鏡下で、カバーガラスとスライドガラスの間にこの25% KI/10% I<sub>2</sub>溶液が次第にしみてゆくとデンプン粒は丁度花が開くようにその構造を変化していった。これには驚いた。中心部には丸く黒い染色した部分があり、そしてその周縁部をうすいピンク色した花びらのような構造が現れた。これをゴーストと称した。ウルチデンプン粒はヨロソヨード原液でもその様な事はなく、ただ粒子は強く紺色に染色するのみである。他のモチデンプン粒ではどうか。米など次々に調べてゆく。すべてのものが同様であったが、モチ小麦デンプン粒の場合は多少中心部にアミロース的染色部が残存したのである。このころ、林美穂氏が私の研究室に来る事になった。

林氏の母親は神戸女子大の卒業生で、大阪淀川キリスト教病院の栄養室に勤務中であった。神戸女子大の学生の病院実習で毎年彼女にお世話になっていた。担当者であった私とはよく連絡していた。母親からある日私のもとに電話があった。「娘を先生のところで学位をとらせてもらいたい」とのことであった。彼女は私の階下の研究室、梶原教授のところでマスターを終了しドクターにゆく予定で

あった。梶原先生から断られたようで、当方に回って来たのだろう。しかし梶原先生の所のマスターの仕事内容と私の所とは全く分野が異なっていた。そのためマスターの仕事はそのまま当方では出来ない。私の研究室にそのままの形で数年いてその後博士をとる様なことなら可能であろうかなどと思つた。神戸女子短大の細見和子先生が少々この研究に囁んでいたが、このモチ小麦デンプン粒の研究テーマを誰か専門にやらせたいと思つていた矢先だった。早速私の研究室にきて彼女にこの仕事をやらせた。

林氏はそんな事で私の研究室にやって来た。あまりしゃべる事もなく、黙々と仕事をやるタイプであった。データーは確実で、きれいに実験を進めてゆくタイプであった。これまでのモチ小麦デンプン粒を高濃度のKI/I<sub>2</sub>溶液処理をし、ゴースト化の確認実験をした後、中心部に残る黒色部のアミロース部分をどうするか実験した。ゴースト化したデンプン粒を超音波処理して周縁の花びら状のモノを外し、遠心分離で黒色化する中心部と分離した。全体のうち黒色部分5.4%、花びら状の周縁部分は74.6%であった。中心部分はアミロース部分であろうか。しかしカバーガラスとスライドガラスの間におしつけて平面的にみた場合、ゴーストの中心部に見える黒色部分は元のデンプン粒では一体どこに位置しているものかは不明である。即ち粒の中心部にこの黒色部分が存在したのかどうかは不明であった。

林氏はこれまでウルチ小麦デンプン粒表面が乾熱処理で疎水化、すなわち親油的になる性質を利用して、このモチ小麦デンプン粒の黒色部分の存在位置を推察しようとした。先ず120℃5hほどの乾熱処理をモチ小麦デンプン粒に施し、親油性のあることを確認した。この親油性部分はデンプン粒表面にある事がわかっている。しかもデンプン粒表面のタンパク質にその性質があることもトリプシン処理で親油性の消える事からわかった。次にこの乾熱処理したモチ小麦デンプン粒をゴースト化し、超音波処理、遠心分離した。黒色部分と、花びら部分に分けて各々の親油性を調べると親油性は花びら部分にあった。即ち花びら部分に粒表面のタンパク質が存在し、黒色部分は親油性を示さなかった。このことは黒色部分はモチ小麦デンプン粒の中心部分に存在していることを示す。黒色部分はアミロースからなると思わ

れる。

さらに、林氏はこの超音波処理で外れた中心部分と周縁部分を夫々 Sepharose CL-2B ゲルクロマトグラフィーにかけて調べた。その結果、中心区分は OD572nm のアミロースの吸収が認められ、一方周縁部部分には OD572nm の吸収は全く認められなかった。中心部の黒色部はアミロースの存在とアミロペクチンの混在が認められた。モチ小麦デンプン粒は粒中心部に少量 5.4% のアミロース区分が存在し、周縁部にはアミロペクチン、74.6% 存在する構造で、アミロペクチン 100% のモチデンプンではない。モチ小麦デンプン粒表面にはやはり多少のタンパク質が存在していてこれが乾熱処理で親油性を示した。この事はワキシ小麦デンプン粒と同様である。ワキシ小麦デンプン粒はヨード染色に黒色に近い色調を示すが、これは粒表面にもアミロースのある事を示し、粒全体アミロース、アミロペクチンが混在している事がこれまでの常識である。しかも粒は高濃度 KI/I<sub>2</sub> 溶液でも簡単にゴースト化しない強固な粒構造を与えている。モチ小麦デンプン粒以外、各種デンプンのデンプン粒を林さんは何れも高濃度の KI/I<sub>2</sub> 溶液でゴースト化を調べ 5% 以下のアミロースの場合にゴースト化を起した。さらにモチ小麦デンプ

ン粒のうち小粒もやはりゴースト化後、粒中心部の存在は示されなかった。

ウルチ小麦デンプン粒にはこれらにはアミロースが 20% 程存在しているが、このアミロースの存在が外れてモチ化すると粒は高濃度 KI/I<sub>2</sub> 溶液でゴースト化、崩壊を起すのであった。アミロースは粒表面にあつて針金の様に粒表面を巻き占めて、外部からの攻撃を守り、デンプンの保存性を高めるのに役立っているのであろうと結論した。モチ小麦デンプン粒の示す粒内部に取り残されたアミロース区分は何を意味するのかは目下のところ不明である。林氏は学位を得た。金長さんの観察した SEM の写真の中にはウルチ小麦デンプン粒が糊化しない様にして崩れて行く粒が観察されている。そこには何層にも分かれた層が、キャベツ状に存在しており、中心部には何か独自の小サイズのデンプン粒が存在しているようであり、その生合成の複雑さが推察される。始めに小粒形成が起こり、それを中心にその外側のデンプンの層が何層にもかぶさり、さいごにかぶさったアミロペクチンによる層の外側にアミロースの針金状の膜がかぶさりがんじがらめの粒が完成して、強固なデンプン粒の貯蔵形態が得られた様な感じがするが未だ未発見の部分が多い。



## 第3章 小麦粉と私

### 1. 冷凍ドウについて

2000年に二階堂聖子さんが広島大学卒業後、関西に戻り自宅から神戸女子大学大学院で学びたいとやってきた。彼女は明石市、西林寺の自宅より通う。冷凍ドウに関心がある。

私もこのアメリカから始まった冷凍ドウの技術（ハードな製パンの仕事に冷凍のステップを取り入れて、パン職人を解放）に興味があった。しかし問題点はある。パンドウをベーキングする前に冷凍・解凍すると製パン性（パン高、比容積）が劣化する点である。それに伴ってドウ表面に水がしみ出てベタベタになる。その原因と回避方法を知りたいと思った。製パン方法は小麦粉、砂糖、食塩、水、イーストを混合しパンドウを作り、1次、2次発酵を行いベーキングする。冷凍は1次、2次発酵（1次発酵は30℃・2時間20分；1次ミキシング15分、ねかし50分、2次ミキシング5分、発酵時間70分、2次発酵は38℃・22分）を終えてからする。そして解凍後ベーキングするとパンは未冷凍のように焼けない。パンドウの表面に水がしみ出てくる。耐冷凍イーストを用いた。なぜか。

二階堂さんはパンドウを遠沈管に入れ、冷凍・解凍後、遠心分離し、遠沈管ごとコールドルーム中で45度に傾け、滴下する水量を測定した。未冷凍ドウに比べて水量は増加し、製パン性の劣化と相関の関係にあった。二階堂さんはマスター終了後、同時に仕事を進めていた卒論生Mさんにこの仕事をバトンタッチして青林寺へ戻った。Mさんが後を続

けて、この仕事を前に進めた。彼女は少々難聴だがそれをもろともせずに授業中もノートテーカーを借りずに頑張る学生だった。二人を連れて仙台の日本農芸化学会に出席し、二階堂さんが発表した。京都から仙台まで深夜バスで行った。研究費がなくそうした覚えがある。仙台ではずんだ餅をご馳走した。

彼女らはこの原因追求を以下のように研究した。まず小麦粉、砂糖、食塩、水、イーストを混合し、そのまま冷凍する。解凍後、1次、2次発酵を行いベーキングする。この時、製パン性（パン高、比容積）は冷凍処理してない時と同じだった。この製パン結果から冷凍は小麦粉には何も影響していないことがわかった。1次、2次発酵したパンドウは冷凍・解凍処理で大きく変化して製パン性を劣化し水をしみ出した。そうならば、パンドウを解凍後、砂糖、イーストを再度添加して1次2次発酵を行い、製パンを行ったところ、製パン性は回復した。しみ出る水量も未冷凍パンドウと同様になった。冷凍前の1次、2次発酵で砂糖は消費され、イーストは機能は低下した為かこれらを入れないと製パン性は回復しなかった。この事は、冷凍・解凍しても小麦粉成分には全く影響ないことを示した。

原因は、水分子が冷凍・解凍によって本来あるべきところにとどまっていけないことが原因と推察した。水分子は大きな氷結晶化作ろうと時間かけるとたくさん移動する。しかし再び1次、2次発酵処理するとその水分子たちはあるべき位置に復帰して製パン性は回復した。もちろん染みでる水の量も

未冷凍パンドウまで回復した。パンドウが冷凍・解凍後、本来の膨化をしなくなったのは、ドウ中の水分子が氷結のために移動して、あるべきところに水分子のなくなったためドウが機能しなくなったためであった。パンドウ中のデンプン、多糖、グルテンタンパク質等の吸着している水分子の移動が大きな原因だ。水分子は困ったことに結晶化するために移動してしまうのである。解凍してもあとは知らんぷりで元の場所へは戻ってくれない。このためにパンは冷凍・解凍すると膨化する機能が低下するのである。彼女らはそう考えた。

Mさんは、この水分子の遊離を冷凍してもなんとかパンドウ中に留めておきたいと考えた。水分子吸着量の大きい多糖類13種類のパンドウへの添加を行った。多糖類を片っ端から小麦粉にブレンドして冷凍・解凍後の製パンを行い、グアガム、キサンタンガム、タマリンドシードガム添加で製パン性の良いもの、遊離液体量の少ないものを得た。これらの業績をまとめ、二階堂さんの了解を得て学位を取得した。

学位の授与式の際、彼女の母親が出席してくれた。その後私の部屋まで立ち寄ってくれてしばらくお話しした。驚いたことにMさんのものの考え方、その話しぶりは母親そっくりであった。彼女の前向き姿勢はこの母親のおかげだと感じた。聞くところによると、本人は武庫川女子大学薬学部に入學したが、難聴のため卒業後薬剤師としては資格が得られないと聞き、管理栄養士課程のある本学家政学部に入學したとの事。しかし管理栄養士の働く現場では騒音が大きく彼女にとり想像以上にハンデイの大きいものだった。一度管理栄養士として社会に出たが、難聴のためか現場では彼女の生活はリズムが狂った。卒後、私のところに来たときには、難聴はひどくなっていて、顔つきまで変わっていた。もっとゆっくりさせねばと感じたのは母親だったと思う。卒業後さらに大学院まで進めさせたのは母親だろう。

すでに松谷化学工業（株）の研究所でアルバイトしており、そこの研究所副所長坪本保住氏が私の大学の後輩だったせいで、彼女の学位取得後、彼に正社員への採用を強くお願いした。なかなか実現しなかったが、数年後彼女から「今の立場は」と聞くと正社員だと言う、なんでもっと早く言ってくれないのかと思ったが、ホッとした記憶がある。彼女の前

向きの仕事ぶりが評価されたものとありがたかった。

## 2. セルロースパンについて

2004年ごろ、神戸女子大学の方へ、旭化成株式会社研究所の山根千弘氏が移動してきた。本人はエネルギーな方で、移動してくるなり会社のサンプルを配り始めた。セルロースをアルカリで可溶化してこれを何か食品加工に利用したいと言っていた。こちらにも製パンに使って欲しいとサンプルが回ってきた。その後、彼に連れられて旭化成の工場見学などもした。アルカリ可溶化し酸で戻したセルロースを利用したいことがよくわかった。

可溶化したセルロースを酸で不溶化する際、サイズの異なる穴を通し中和すればサイズの異なる粒子が得られる。セルロースはデンプン同様ブドウ糖が構成糖だが、 $\beta$ -1,4結合のため体内で消化吸収されず人はこれをエネルギー源として利用できない。低カロリーパンが欲しい。小麦粉にセルロースをブレンドして製パンすると言う論文は世界中数多く見られる。しかしいずれも膨らみが悪いパンだった。これが大きなトラブルだ。

当方にこうして粒子サイズの異なったもの（6–650 $\mu\text{m}$ ）、7種類が山根氏から届いた。小麦粉にブレンドしたらどんなパンになるだろうか。卒業論文作成の学生たちに、セルロースパン、やってみるかとか聞くとやりたいという。グループを作り、粒子サイズの異なるサンプルを預け、製パン試験をやらせた。粒子サイズの異なるセルロースを小麦粉にブレンドして製パン試験をやらせ、最後に結果を集めて評価した。セルロースを入れない小麦粉だけの時がいずれも製パン性はベストだ。面白いと思ったのは、セルロース粒子は小さいほど製パン性への影響は小さく、大きいほど低いと思ったが、学生のデータはそうではなかった。セルロース粒子は大きいほど製パン性の影響は小さく、小さいもののほど影響は大きかった。細かい6 $\mu\text{m}$ よりも650 $\mu\text{m}$ の方が小麦粉パンに近かった。

そのころ山口県立大学を卒業した田原彩さんが、神戸女子大大学院に入學してきた。山口県立大学では安藤真美先生の元でパンの研究をし、将来はお菓子の関係の仕事をやりたいと言っていた。この学生たちのセルロースパンの乱暴な結果をみながら、田

原さんにセルロースパンの仕事をやらせたかった。本人も興味を持った。熱心な本人は直ちに研究を行い、その結果やはりセルロース粒子サイズと製パン性の関係は同一の傾向を認めた。さらに 650 $\mu$ m のセルロースを乳鉢で破壊しその破壊時間と製パン性の関係もみた。時間とともに製パン性の低下が認められた。

2015 年フランス、パリ、ICC (International Cereal Congress) でこの研究発表をした。ヨーロッパの病院から連絡があり、セルロース利用したい旨の連絡があった。その後どうなったか不明。フランスに来て、前にお世話になった聖母女学院短期大学の原点、ヌベールまで出かけた。聖女ベルナデッタの思い出の場所であった。

田原さんはマスター卒業後、岡山の美作大学助手になり移動して行った。土日、神戸の自宅に戻り、研究を続けたいと言っていた。しかしやってみると研究時間が十分に取れない。美作大学を止めドクターコースに入った。製パン性におけるセルロース利用研究に集中した。セルロースを小麦粉にブレンドして低カロリーパンを作る事は可能となり、さらにセルロースに機能をもちたせたい。体中で何かやらせたいと考えるようになった。セルロースのままでは機能が低いので多少着色がつくほど炭化させた。食品添加物で体中に取り込んでいる合成着色料の除去をやりたい。この合成着色料は発癌性など危険性が言われている。欧米で禁止されながら本邦では許可されてるようなものもある。その結果、日本で許可されている 12 種類の食用タール系色素を入手し、その吸着性を研究した。

田原さんは細いガラス管にこのセルロースを 1mL 詰めてカラムを作り、このカラムで吸着性を調べた。その結果、エリスロシン、フロキシン、ローズベンガルに吸着性が認められ、結合のメカニズムも調べた。乾熱処理しなかったセルロースには全く吸着性は認められなかった。こうして機能を持たせた低カロリーセルロースパンの生成を可能にした。彼女はこの結果を論文発表し学位を取得した。現在大阪成蹊短期大学にいる。M、田原さんらには私の授業でも色々お世話になった。以下食品加工作実習風景である。

### 3. 楽しかった食品加工作実習

神戸女子大学家政学部の教員になって、担当科目に食品加工作実習があった。週に 2 回、朝 (9:00)

から昼 (12:15) までの 3 時間だった。クラス (1 クラス 40 名) が 4 クラスあり、前・後期に 2 クラスずつ、1 年間フル回転でこの授業を行った。

学生は口が肥えているので、作った加工食品を試食して美味しくないと言いがゆかない。興味を抱かない。実習内容も味を楽しみながら、しかも途中に現れる食品材料の色、香り、状態変化等を観察しながら勉強する必要があった。9:00 からの授業ではプリントを用いて当日の説明を行う。15 回終わると各レポートをまとめた 1 冊のファイルができる。将来、必要な加工食品があれば、すぐに使えるようなファイルを作らせた。各人写真入りの立派な分厚いファイルを作ってくれた。その間、階下の加工実験室では助手の足田さんが加工実習の準備を進めている。授業には 2 階の講義室と加工実習室を使って行った。学生は講義室での講義が終わって階下の実習室に移動して実習に入る。荷物が邪魔になるので、講義室で作業着に着替えて実習室に移動する。化学実験用白衣ではなく調理実習着に着替える。白の上着にグリーンの前掛けとズボン、頭にグリーンの帽子を被り、ちょうどデズニーの「白雪姫と 7 人のこびと」に出てくるこびとの様でおかしかった。

まず、甘いものが大好きな彼女らのため、ジャガイモデンプンの調製、大麦麦芽作り、水飴製造、そしてキャンデー製造を行った。キャンデー製造は、グループによってドロップス、マシュマロ、キャラメル製造を行った。水飴製造の説明を黒板でした時、「金太郎飴ってあるよね。どの飴も同じ金太郎の顔が出てくるやつ、あの飴の作り方、どうするか知ってる?」と聞いた。まず熱い飴をよく捏ねて空気の泡をたくさん飴に巻き込んで真っ白い飴を作り、この飴に黒色や赤色を入れ着色し、これらを使って顔を作る。そしてまだ熱いうちにぐーんと引っ張る。長い飴ができ、細くなったところを割ってみると割れ口はどこも同じ金太郎の顔が出てくる、と黒板に絵を描くとみんなドッと笑った。味もそっけないデンプンが糊化してベタベタになる。これを  $\alpha$  アミラーゼの作用でシャバシャバに液化し、 $\beta$  アミラーゼで甘くする。不思議だ。ここでは大麦麦芽の役割が大切である。大麦を暗所で発芽させ、数日後できたもやしを乾燥、粉碎し麦芽粉末とする。ジャガイモから集めたデンプンを糊化後、麦芽処理し、濾液を鍋の中で煮詰めて水飴を作る。舐めて次第に甘

くるところなど興味津々であった。次回の授業にはこれを使ってドロップス、マシュマロ、キャラメルを作る。ドロップスのグループは、水飴にさらに砂糖を加え煮詰めて、熱いうちに鉄板中に流し込み、冷えてから木槌で表面をたたき割り、小さくして出来上がり。口の方張ると甘くて美味しい。煮詰めた飴がまだ冷える前に攪拌した木ベラを空中にずっと引っ張り糸状にする。そのまま硬い細い糸になったのにはみんな驚いた。キャラメルのグループは、水飴に砂糖、加藤練乳、バターを加え、煮詰めてこれを鉄皿に流し込み、冷えてから取り出し包丁で切り、紙に包んで出来上がり。マシュマロのグループは水飴、ゼラチン、卵白をミキサーボール中に流し込み、混合物が硬い泡になるまで激しく攪拌し空気を十分に抱き込ませてから乾いた米粉の中に流し込む。しばらくして取り出す。紙に包んで出来上がり。いずれも美味しい。グループごとにたくさん作る。紙に包んだらお互いに分けあって1人で3種類のキャンデーを作ったこととした。家族と食べてと持って帰らせた。興味を持ってくれた。

缶詰製造実習も面白かった。ブリキ缶に物を詰めて、蓋をして、密封し熱殺菌することの体験は栄養士にとり重要だ。内容物は温州みかんを利用した。アルカリや酸液を使って内皮を完全に除去、全て可食みかんにする。美しいみかんの姿に感心する。シロップとともに缶詰に入れ、その上に蓋を載せる。各自1缶、自分の缶詰である。グループを集め、機械の前でホームシーマーの強力な2段階の回転で完全に密封状態を作る。回転部は危険なのでこちらでひと缶ずつ密封してゆく。完全に密封されたかどうか学生らの眼前で缶詰を手に取りひっくり返す。シロップが完全にもらないかどうか確認する。「うまくしまっているよね」と。1缶ずつひっくり返すと学生はなぜか笑った。調子に乗り吉本の喜劇が頭に浮かんで「シマッタ シマッタ シマクラチヨコ!」とやったら学生らは大爆笑であった。後から話したことの無い学生が来て、「先生はよしもの関係者ですか?」と大真面目に聞いてきた。

授業では、学生は助手と私との関係を興味深く眺めている。足田満吉助手は私と年齢も一緒、私同様企業人であったことなどからお互いよく理解し合えた。彼は食品を扱う仕事をやってきた現場のベテランで、学生に対しても衛生面で事故のないよ

うに細心の注意を払ってくれた。食品加工には大きな機械装置、熱媒体など危険なものも多く、実習室にはガスホースが縦横に引かれ、ガスコンロ、加熱沸騰の湯など危険なものが多い。非常に気を遣ってくれ事故などは全く無かった。前述のように口の肥えている学生相手に、出来具合にも気を遣ってくれた。学生からの信頼も厚かった。

食品加工実習室は製パン加工実習室でもあった。場所は月見山キャンパスの最も東側の建物(C館)1階で、製パン加工実習準備室、実習室とからなり、行吉哉女先生が力を注がれ本格的な製パン設備を整えられていた。足田助手にパン技術士の免許を取らせここを常駐させた。学内の西側一角には大きな慰霊碑がある。月見山キャンパスは戦時下亡くなった多くの方々の焼却場であったことから、哉女先生はその霊を慰めるために慰霊碑を作られた。お供物にパンが使われた。そのために製パン室が必要であった。このパンは、本学にたくさん定着していたカラス群のいい目当てであった。C館1階の製パン室が、このパンを焼いている場所ということのカラスは知っていた。C館は山肌を切り取ったところに並行に建ててあり、壁のような山肌をコンクリートで固め、建物との間は部屋のような空間になっていた。その上をプラスチック板をはり屋根代わりとしていた。空間は物置きがわりにしていた。製パン室で焼かれるパンの香りはその辺から空中に漂っていた。パンの副材料(砂糖、塩等)の入れ方は日によって変わってくる。人が食べるパンではなく捧げ物だからである。カラスにとっては、日によって違うパン材料は彼らの味覚に大きく影響する。パンの味が変わることはカラスには許せない。人気のないころカラスは群をなしてこの製パン室横の倉庫の屋根を襲ってくる。彼らは口に石ころをくわえて飛んできて、プラスチック屋根の上から放つのである。プラスチックの屋根は無数のひびが入っていた。お化けのようなこんな話を学生は喜んだ。

パンの焼ける管理栄養士を育成するという大目標があった。パンはみんな大好きだ。パンがどうして膨らむのかも興味深いところだ。講義ではパンがなぜ膨らむのか、ゴムフーセンの膨らみとパンの膨らみを比較して話した。ゴムフーセンはある程度膨らみそれ以上空気を入れると破裂してペシャンコになるが、パンの場合はペシャンコにならないのはなぜ



か不思議である。グルテンタンパク質の熱変性とデンプン糊化の織りなす妙であった。各人には小型パンケースを与え、食パンを焼いた。パンドウの薄い膜がプッと膨らむのを覚えているだろうか？

最後の実習では、学生諸君が喜ぶと思われるチョコレート製造を行った。カカオ豆から板チョコ製造までを行った。講義では、カカオの生産地、栽培、収穫の説明から、チョコレートの栄養成分とおいしさの鍵について最新情報を伝えた。食品加工上面白い挙動を示す油脂（POS）の性質など興味深い性質がある。主原料のカカオは森永製菓の友人からもらっ

た。まずカカオをローストし上皮、芯を除き乳鉢で粉碎するところからはじまった。加工実習室はカカオのいいロースト臭がした。コーヒーマルでカカオビーンズを細かくペースト状に粉碎する。カカオバターや粉糖などを加え加熱・攪拌を続ける。チョコレートを型に入れ、冷やし固まった板チョコレートを切り分ける。学生たちは自分たちで作ったチョコレートを満足げに試食して実験は終了した。「おいしい」けど「お店で売っているチョコレートと舌触りが違う」との声も聞かれた。これを知った新聞社が授業に飛び込み、学生は驚いた記憶がある。

## 第4章 小麦粉と私

### 1. グルテンと病気

2021年6月、フィンランドのテンペレ市で行われたICC（International Cereal Congress）会議，（Gluten-Free Cereal Products and Beverages= グルテンフリー穀物による穀物食品と飲料）に参加して、セリアック病のことを知った。東洋からは私と中国人の参加者二人のみだった。欧米人の参加者は数百人の大きな学会だった。この学会は小麦粉中のグルテンタンパク質が引き起こすセリアック病に関する学会だった。小麦粉を主食とするヨーロッパ、アメリカでは人口の1%強の人がこれで死亡するという恐ろしい病気である。患者さんはグルテンを含む食品は一切食べられない。その原因の追及やら、対策やらに関する学会で、食の欧風化が進みパン食の進む日本を含むアジア、アフリカでもこれから問題になる大きなテーマである。

学会に出席して欧米の人たち、特にドイツ、フィンランドの研究者が多かったが、彼らの発表の様子などをうかがい、グルテンフリーへの関心の深さを伺うことが出来た。医師、化学者、食品企業の人たちなど、多くの分野の人たちで活発に議論が行なわれた。その中に管理栄養士の発表者がいた。若い女性管理栄養士が「私は Dietitian（管理栄養士）だが」と滔々<sup>とうとう</sup>と他分野の人たちの中で自分の意見を述べていた。帰国後、ゼミ学生にその様子を話し、「君らもあのようにならねばいけない」と激励したが、現実味がなかったのだろうか、笑っていた。

以前からグルテンフリーパンのことに興味を持

ち、山芋の粘性を利用してパンはできないだろうかと研究を行い、論文が1つ書けそうなところまで来ていた。そのデータを持ってこの学会に出かけた。私は学会で発表を行わなければ参加しないと言う建前であった。ポスター展示コーナーがありそこに展示した。イタリアの研究者からメールでヌードルのグルテンフリーに山芋は利用できないだろうか問い合わせがあり、山芋はイタリアにはないのだろうか調べた。イタリアでは高価なようでその旨を連絡した。

それから「セリアック病とグルテン」という本を書いた。これはドイツの研究者の書いた名著を翻訳したものであるが、それまでセリアック病について全く知らなかった。多くの欧米の子供たちが、小麦のグルテンで被害を受ける病気である。子供が死ぬ病気である。

長いことその原因が不明だったが、第二次世界大戦中、子供に食べさせるおやつが不足した。ところが不思議なことにこのセリアック病が子供の中から消えたのである。オランダの医師 Dicke はこの原因は小麦のせいだ、小麦がなくて子供たちはおやつを食べられなかったからだ、と言い始めた。さらに小麦の中のグルテンタンパク質がその原因であるとまで追い詰めていった。

この病気で死ぬ子供らは小腸の絨毛が収縮していることが生検技術から明らかになった。小腸の絨毛がなくなり、そこから吸収するブドウ糖のようなエネルギー源が吸収できないのであった。お

やつが食べれなくなり、セリアック病に罹患しなくなっていた。

セリアック病とは、人の小腸から絨毛が消失するために起こる病気である。人の小腸にはロイシルアミノペプチダーゼがないために、グルテンペプチドを消化できない。小腸に達するまでにある程度プロテアーゼ分解されるが、残渣ペプチドは小麦グルテン独特のプロリン、グルタミンリッチのためこの酵素がないと消化は進まない。普通の人はそのまま通過してしまうペプチドを、セリアック病患者は小腸表面から内部へと取り込んでしまう。取り組まれたペプチドはトランスグルタミナーゼ2によって分子構造を変化させ、異物ペプチドとして自己免疫疾患を引き起こす。できた抗体、サイトカイン等の関与で小腸表面の絨毛を壊す。その組織が壊れるために、子供らの生命は奪われてしまった。多くの欧米人がその歴史の中で原因も治療法もわからずにこの病気の被害を受けてきた。これを回避するにはグルテンフリー食品しかない。麦類のタンパク質（小麦粉はグルテン、大麦ではホルデイン等）のあるアミノ酸配列が原因であることがわかってきた。例えばQQPGQG,QQPGQG,QQPGQG,QQPGQG等で、これを食べると、セリアック病になることがわかり、患者は血液の抗原抗体反応でそれがわかる。アメリカ、EU諸国では1%、メキシコで2-4%、サウジアラビア諸国では4.8%といわれている。Qとはグルタミン、Pとはプロリン、Gとはグリシンのことである。

AACCI（アメリカ穀物科学者会議、現CGA）やICC（国際穀物学会）などの穀物関連の国際会議では近年多くのグルテンフリー食品に関する研究発表があり、その動きには驚かされる。わが国の食品関連学会はというと、その様相はちがう。日本人にはこの病気はないとか、日本人にもセリアック病と思われるヒトがいるとか、まだ調査結果のはっきりしてない病気である。

産業科学システム（東京）主催のグルテンフリー食品セミナーで以下のようなことがあった。ビールはグルテンフリー飲料ではない。大麦中のグルテンであるホルデインがやはりセリアック病を引き起こすからである。セミナーにはビール会社の方が来ていて、自社もグルテンフリーの認証を得たいがどのように手続きしたらよいかなどと質問があった。さ

らにビール中のグルテン含量を欧米では抗原抗体反応を利用したエライザ法で測定しているが、日本でもその測定が可能かどうかと質問があった。全く異次元の様な日本でこうした具体的な事が行われているのかどうか不明であった。いよいよ慌てる状況が生まれてくるのであろうか。エライザ法には基質にエピトープの数カ所ある高分子グルテンで用いられるサンドイッチ法と、エピトープの1つ箇所しかない低分子グルテンに用いられる競合的サンドイッチ法がある。一般にビール中のグルテンは加工処理等で分子量が小さくなるのであろうから、サンドイッチ法では不十分で、競合的サンドイッチ法を用いて測定しているようである。さらにこの場合もその抗体作成に問題があるようだ。キットに使用されている抗体は、小麦グルテンで調製した抗体のようで、これでは大麦グルテンの測定には不十分のようである。大麦の抗原で作った抗体でなければうまく定量出来ないようである。果たして、現在販売中のエライザキットはどうだろうか気になる。

セリアック病以外にもグルテンの関与する病気、小麦アレルギーなどがあり、苦しんでいる人々がいる。グルテンフリー食品を作成してみようと考えた。

## 2. グルテンフリーパンの研究

何千年という歴史を持つパンは小麦粉中のタンパク質であるグルテンの機能（伸展性、弾力性）をうまく利用した加工食品で、人類に大きく貢献してきた。メンなどもグルテンの伸展性をうまく利用した加工食品である。これまで欧米のグルテンフリーの素材は、米、雑穀が用いられている。これら素材ではパンとしての膨化は良好とは言えず、本来の小麦粉パンにくらべ劣化したイミテーション食品である。セリアック病患者の食べているグルテンフリーパンなどはパン組織に連続性が無く、膨らみのないぼろぼろのパンでおいしくない。患者は、ひっそりと隠れて食べているような印象で気の毒である。おいしい、安全なグルテンフリーパンが欲しい。

日本ではこれまではパン、メン食で体調が崩れた場合には米食で逃げることができた。しかし米食も苦手の人が増えている。肉、卵、牛乳、ハム、チーズ等にはやはりパンのような膨化食品があっている。

日本は高温多湿気候のため、微生物による腐敗、

発酵が起こりやすい。食品加工ではいろいろな工夫がある。納豆のような粘性を持つ発酵食品に対しても西洋人などと違って違和感は低い。このため日本人は食品の粘性を厭わない。グルテンのもつ独特の粘弾性、粘着性は日本人の嗜好する加工食品に多い。日本人の食べる粘性食品を利用して、グルテンフリーパンを作ろうと考えた。

納豆、なめこ、古くなったバナナ、やまいも、がごめ昆布などがあり、学生をグループに分けて製パン試験をやった。

膨化のいい小麦粉ドウはたいした混合を要せずに形成するが、グルテンのないこれらは大きな機械的な力が必要であった。しかし、パンの膨化は得られた。

(1)バナナパン バナナは日本で最も多く輸入している果物である。輸入直後のグリーンのもの、その後黄色になったものではパンはうまく膨化しなかったが、黒色化して粘度の出たものでは小麦粉パン同様の膨化を得ることができた。アルコールでバナナ表面を清潔にすれば黒変してもカビの汚染から守ることもできた。黒変するとバナナ組織中のデンプンは糖化され、細胞も破壊されクリーム状に変化し、これを用いるとグルテンフリーパンのできることがわかった。バナナパンは、パン1個に対しバナナ粉 30g、小麦デンプン 30g、砂糖 8.86g、コンプレストイースト 10g と水 50mL の配合。この場合、バナナ中の細胞の酵素的変化が大切で、この黒色したバナナの組織をオートクレーブ処理すると膨化しなかった。

(2)山芋パン ジネンジョ（山芋）の粘りはマンナン多糖類であるが、その粘りのメカニズムは不明である。ジネンジョによるグルテンフリーパンは、ジネンジョ粉 10g、小麦デンプン 30g をブレンドして、砂糖 8.86g、ドライイースト 10g、水 30mL を加えて 40℃ 20 分間発酵して 210℃ オープンで 10 分焼いてパンを調製できた。今回の試験の中でジネンジョを水に対して透析により高分子量区分と低分子量区分に分画し、それぞれのみではパンは膨化しなく、合一することで膨化した。高分子量区分と低分子量区分（アミノ酸、ペプチド、糖類等）との間の混合がジネンジョの粘性をえるのには大切であることがわかった。

(3)ガゴメ昆布パン ガゴメ昆布は明治 35 年に宮部金

吾氏により発見された昆布で、その表面に凹凸のある形態で、真昆布と明らかに違っている。他の昆布より粘りの強いこと、さらに健康面からも関心がもたれるようになった。その粘り成分はアルギン酸 20-30%、ラミナリン 4-4.5%、フコイダン 4-5% であると言われている。これを使ったパンはなかなかできなかった。大学院生の井関さんがこのパンに取り組んだ。含量をずっと落し、300mg の少量のガゴメ昆布を用いることにより製パンに成功した。激しい攪拌により空気を抱き込ませて成功した。数年かかった。ガゴメ昆布粉 300mg、小麦デンプン 30.2g、砂糖 8.81g、コンプレストイースト 10g、水 22.0mL の配合だった。パン1個に数十グラムというわけにはいかなかった。このためパンの香り、クラム色等への影響は少なく粘性素材としては有効な物と思われた。

このガゴメ昆布を水とともに攪拌後、遠心分離して上清区分と沈殿区分に分けると、この製パン性は上清区分にあり、沈殿区分にはなかった。前述の多糖類が水溶性であることから、これら多糖類が原因とうかがわれた。

この上清液は水に対して透析して HMW（高分子）区分と LMW（低分子）区分に分けることができる。夫々を凍結乾燥後、製パン試験を行うと、HMW 区分のみが製パン性を示した。上清液は色、粘性等から 2 層に分離した。その上部は黄色がかった透明の層で、その下にダーク色の粘性ある層がくる。明らかに分離できるのでこれら 2 つの層に分け、夫々凍結乾燥後、製パン試験を行うと、下層の方が製パン性は劣ったが、何れもよく膨化した。

(4)その他のグルテンフリーパン 外国人の納豆を知らない人は、あの粘りにぞっとするという。納豆パン、なめこパンもできた。さらに粘りのある野菜類のオクラでも同様のグルテンフリーパンはできた。いずれもこれらを凍結乾燥した粉 10-30g に小麦デンプン 30g、砂糖 8.86g、イースト 10g のブレンドしたものを 40℃ で 10 分間発酵、220℃ のオープンで 10 分間ベーキングを行う基本形で膨化が得られた。

### 3. マーベル

学生部長時代、学生たちの喫煙が問題になり、その門番代わりの私は会議などで医師からよく叱られた。健康に良くないし、喫煙した後の吸い殻の間



題等であるが、いくら注意しても減らない。喫煙する場所に行ってみると吸い殻が放置され、床は焦げている。

貝原俊民氏が理事長に就任されてから、パン関連の喫茶店を学内に作りたいと提案したところ前に進めよとのことであった。ちょうど食堂の地下に広いフロアがあり、そこに作る事となった。実はそこが喫煙者の棲家であった。この場所でパン製造して学生が手軽に食事でき、コーヒー、お茶の飲めるファンシーな場所を作ろうと考えた。大阪の辻調理師専門学校吉野精一氏に相談を持ちかけた。彼の紹介で専門の業者を入れてオープンの施設を入れ、立派なコーナー、マーブルができたのである。辻からパン職人を採用した。先生がたからも好評だった。喫煙者もいなくなった。

最終の私の歓送迎会をこで行った。ゼミ生が中心で、多くの卒業生が集まってくれた。最終講演の中、卒論実験テーマ名とその担当学生名を挙げ、彼らの仕事がある後、大学院生の手により完成され英文の研究論文になったことを述べて喜んでもらった。学長、学部長が聞いてくれた。当日は神戸学院大学草野毅徳先生のアドバイスで企画した。草野先生は御自分の退職時の歓送迎会を私に紹介しこれをやれとアドバイスしてくれた。自分から言わないと誰も動かないから自分から言えと強くアドバイスをされた。そんなものかと思って、神戸女子短大の竹内先生に喋り実施してもらった会であった。

私の研究室初期の卒業生からずっと探って250数名、あるいはもっと多かったか。リストを作成してくれて、各人に葉書を出して参加者を集めてくれた。竹内さん、中村さん、田原さんがやってくれた。私の講演会の後、場所をマーベルに移して、送別会やってくれた。マーベルでは足田さんが食事の準備やらやってくれた。おいしいパン、楽しい飲み物、ご馳走をたくさん作ってくれ、各テーブルに分かれてお喋りしている中に私が次々と回って行って、懐かしい話をしたり聞いたりした。記念写真を竹内さんご夫婦が撮ってくれて良い記念日になった。これらは小麦粉が結んでくれた神戸女子大での思い出であった。

#### 4. いろいろな思い出

i. 出勤：早朝、暗くて重たい宇治からJR線に乗り、雑

踏の大阪を通過し、目が覚めると、芦屋、三宮近くで、電車から右手に見える山側はずっと明るく、白い家々が山頂に向かって整然と立ち並ぶ様は、こんな所が日本にもあったのかというような明るい地中海のような感じのところだ。そして須磨の学校だ。家族を置いて、自分だけ別世界に飛び込んでゆく感じだった。24年間、この明るい神戸にある本学で感動の毎日を過ごすことができ、仕事も十分でき、若い人から多くを学び、大げさだが神に感謝だ。

ii. 授業のやり方：アメリカでは新人教員に対し、講義のノウハウの指導があるようだ。日本では大学での授業のやり方は、全て各教員に任せてある。教員は、学生時代の授業を思い出しながらそれにそって進めるようになる。私も学生時代に受けた実験、講義のやり方をまねしてきたような感じがする。

たとえば食品学実験や化学実験のやり方はこうだ。実験のためのテキスト、あるいはプリントはその授業開始時に既に学生に手渡してあるが、その日に行なう実験の説明は、前週の実験の説明の中で行った。したがって当日の実験は、その前週の説明に基づいて進めた。まずグループ(5-6名)毎に学生を集め、そのグループの輪の中に入り実験の目的、方法等を一人一人に説明させた。試薬はどのような目的で使うか、加熱の意味は何であるか等である。うまく答えられない場合にはそのグループを自席に追い返し、グループ内でディスカッションさせた。その間、別グループに対応し、その説明が夫々できるようになって初めて実験させるようにした。グループには待ち時間が生じるが、その間よくグループ内で実験の内容をチェックさせた。早く実験に取りかかりたいので、各グループは夫々真剣になる。うまく説明できないグループ内の学生は、他の学生の手前真剣にならざるをえない。説明できたグループには、試薬、試験器具等を手渡し実験させた。こうすると事前に学生達の目の色が代わり十分に準備してくるようになった。

講義(1クラス、約40名)はというと、講義はマイクを使わずに肉声でやった。スライドは使わない。参考書は座右に置かせた。講義の大切な所はゆっくり何回もしゃべり、ノートに書かせた。知らない文字は白板に大きく書き、ノートをつくらせるやり方である。これは学生時代にニコニコ笑っていた文学の教授の授業の模倣だ。大学時代のゼミの松田和

雄先生の授業を今でも興味深く思い出す。先生の授業の中には院生の実験データがどしどし出てきて、これは誰々君のデータだといいいながらそれがどの雑誌にでて、学問的にどのような意味があるのかまで説明された。教科書に出てくるデータと我々の目と鼻の先にいる先輩たちの仕事との関連となると、授業は面白く、刺激的だった。

小型の IC RECORDER (録音機) があり、長時間記録でき便利である。授業を全て録音し、後で聞くことにしていた。こうすると、自分のしゃべり方、スピード等をはっきり反省することができる。自分の授業を聞くべきだ。これはある同僚の先生の物まねだ。

iii. 助手への感謝: 食品加工実習では、大麦の種子もやしから麦芽製造、ジャガイモデンプン (くずデンプン) 調製、その間、バター製造、チーズ製造を行なった。水飴製造後、キャラメル、ドロップス、マシュマロ等のキャンデー製造を行なった。さらに、うどん、中華麺、餡、こめ麴みそ製造、みかん缶製造、ソーセージ製造、いちご大福餅、ずんだ串団子製造、アイスクリーム製造、コンニャク、豆腐の伝統食品製造、チョコレート製造、パン製造の多岐に渡って行った。学生 (40 名) は、短時間内 (90×2=180 分間) で講義を受け、グループ (6 グループ) 毎で夫々加工実習を行なった。学生諸君は各加工食品製造の際の加工原理、さらに食文化的意義等の説明を受け、短時間内に加工食品を作り上げ、自分たちの作った物を試食した。失敗は許されず、短時間内に全て完了するのは神業だ。口の肥えた女子学生は、失敗することなく、おいしく食べないと満足しない。安全、衛生面はもちろんのことである。足田助手は食品調理のベテランで、特に食品衛生面では極めて慎重に対応してくれた。全く食品加工実習では事故はなかった。調理後の学生達の満足度は極めて重要であり、学生たちは正直で、味、色、匂い、見てくれ等全てについて厳しい批判をしてくる。彼は助手としてその役割を十分に果たしてくれた。学生は小生ら教員グループの呼吸をよく見ていた。助手として満足の行く対応をしてくれた。

iv. 研究: 本学に来るまでは、薄力小麦粉を用いたクロリネーションの研究を進めてきた。本学に移り、

その研究の中心を強力小麦粉にシフトし、製パン研究を進めた。薄力小麦粉と強力小麦粉ではその用途も異なり、その性質も大きな違いを感じた。何れどこかで合致するところがあるだろうと安易な気持ちはあった。しかし合致しなかった。

**薄力小麦粉;** 薄力小麦粉の研究では、小麦粉中 40% あるデンプン粒表面のクロリネーションによる変化に興味深かった。デンプン粒表面には多少のタンパク質があり、そのタンパク質へのクロリネーションによる化学修飾による疎水化が起こった。小麦粉の乾熱処理 (120°C, 2 時間) でも同一の疎水化が見つかり、さらに長時間の室温放置でも同じ効果が見つかった。カステラの小麦粉エージングによる高品質化の原因が小麦デンプン粒の疎水化であろうと推察され、小麦デンプン粒表面のタンパク質の関与が大きい事がわかった。

**強力小麦粉;** 強力小麦粉の研究では、パンの膨化の研究を進めた。パン改良のためのプロメート (KBrO<sub>3</sub>) 処理をもっと安全な物に置き換えようということから始まった研究だった。小麦粉に酢酸ガス処理を行なった結果、製パン性 (パン高、比容積) は上昇した。ジスルフィドをもつニラ、ネギ、らっきょう等を小麦粉にブレンドし、製パン性の向上を観察した。カラー野菜のトマピー、ピーマン等の小麦粉ブレンドでも製パン性の向上を観察した。

その他、鉄分の多いカルカデ、ライ小麦、ふすま、マイタケ、セルロースの小麦粉ブレンドパンの調製を進めた。製パンに利用しにくい材料だが健康志向から製パン製造に何とか利用しようとして進めたものであった。さらに米粉パン (米粉/グルテン) の製パン性改良研究へと進んだ。

腎臓病、糖尿病患者さん用パン、さらに自己免疫疾患であるセリアック病患者さんに対するグルテンフリーパンの研究を進めた。小麦粉代替えパンの調製研究である。具体的には、バナナ、ジネンジョ、ガゴメ昆布、納豆、きのこ等の粘性物質とデンプンによるグルテンフリーパン製造研究を進めた。

ゼミ生 (250 数名)、大学院生、神戸女子短大の先生方、助手の方々、企業の方々による御協力の下に行われた研究だった。

## 索引

### ア

アミロース 4  
アミロペクチン 4  
アルカリ可溶化 20  
泡 11  
ウルチデンプン粒 17  
エージング処理 12

### カ

カステラ 13  
カステラ小麦粉のエージング改良メカニズム 12  
官能試験 4  
キモトリプシン 10  
キサンタンガム 20  
気泡剤 11  
気泡安定剤 11  
グアガム 20  
凝集 5  
くず鉱石 11  
クマシイブリアントブルー 16  
グルテン 4  
グルテンフリー 24  
グルテンフリーパン 24  
グルテン区分(G区分) 3  
元素分析法 10  
蛍光染料(フルオロスキヤミン) 10  
抗原抗体反応 25  
ゴースト化 17  
小麦アレルギー 25  
小麦粉クロリネーション 2  
小麦粉の漂白 2  
小麦デンプン大粒区分(A粒) 4  
小麦デンプン小粒区分(B粒) 4  
小麦デンプン粒3次構造 16  
小麦粉のエージング 13  
小麦粉乾熱処理 9

### サ

酢酸ガス処理小麦粉 12  
自己免疫疾患 25  
ジヨードチロシン 10  
食品加工実習 21  
ショ糖脂肪酸エステル(SFAE) 5  
小学国語読本 7  
親油性 9  
水溶性区分(WS区分) 3  
聖母女学院短期大学 8  
セルロース 20  
セルロースパン 20  
セリアック病 24  
疎水性 9

### タ

タマリンドシードガム 20  
弾力性 4  
チロシン 10  
テーリングス区分(T区分) 3  
デンプン粒表面タンパク質 10  
デンプン粒表面タンパク質 10  
トランスグルタミナーゼ2 25  
トリプシン 10

### ナ

ねとつき 3

### ハ

氷結晶 19  
ホットケーキ 1  
ホールスライドグラス 5  
ホットケーキ用小麦粉の乾熱処理による  
改良メカニズム 12  
プライムスターチ区分(PS区分) 3  
プロメート(KBrO<sub>3</sub>) 14  
プロテアーゼ処理 10  
ペプシン 10

### マ

松坂の一夜 7  
水分子 19  
モチ小麦デンプン 17  
モチ小麦 17  
モチ小麦デンプン粒 17  
モノヨードチロシン 10

### ラ

リジン 10  
冷凍ドウ 19  
ロイシルアミノペプチダーゼ 25

## あとがき

思えば遠くへ来たものだと、小麦粉にひかれてこの道をあつという間に進んできた。大学を定年退職して研究者としては実験台を失い、まな板の上の鯉になってしまい途方に暮れた。これまでの大学・実験室での生活から一転して自宅に籠っての生活になり、正にまな板の上の鯉になってしまった。

これまでの研究、小麦グルテンフリーの研究から、小麦以外の穀物に関心が出てきた。海外の研究者たちのグルテンフリーの関係本を探し、翻訳して「セリアック病とグルテン」、「グルテンフリーによる製菓・製パンについて」、「グルテンフリー穀物による食品と飲料」、「グルテンを含まない古代穀物」を出版した。

さらに「グルテンを含まない古代穀物」の中から膨大なアフリカの忘れられた食植物（穀物、野菜、果物）のアンケート調査書のあることを知った。アフリカという高温、乾燥、あるいは多湿という極めて厳しい環境下でまず生きてきた植物があり、その後スタートした人類がこれを食べて現在があるという歴史は極めて重要で興味深い。この調査書を見るとそのアフリカにおける人類がいかに植物を選択、利用して、そして不要なものを捨ててきたかがわかる。これを現在の我々が眺めた時、そこに流れる大きな教訓を多々読み取れる。これから地球上に起こる気象環境の変化時に、人類が生き残るチャンスは現状では厳しいものがある。この時そのよりどころになる事例がこの忘れられたアフリカの植物群にあると思われた。そして更には利用できるのはこの忘れられたアフリカ植物群にしかないと思いつつ、「忘れられたアフリカの穀物」を出版し、目下「忘れられたアフリカの野菜」、「忘れられたアフリカの果物」を作成中である。さらにアフリカ、エチオピアでの異常気象下での苦悩した人々を助けたエンセット（偽バナナ）の事例なども重要な歴史的事実として紹介したい。



## 著者紹介

### 瀬口 正晴（セグチ マサハル）

1970年東北大学農学部卒業。農学博士。  
神戸女子大学名誉教授。

## 小麦粉と私

2026年7月30日初版1印発行

著者 瀬口正晴

発行者 瀬口正晴

発行所 瀬口正晴研究会

連絡先：瀬口正晴研究会

〒611-0002 京都府宇治市木幡平尾4丁目276番

電話 0774-32-7949

印刷・製本 菱三印刷株式会社

