緒　　論

稲作の発祥は東南アジアの雲南，ビルマ北部，パンジャブ地域であり，これがインド東海岸地方に2500年頃に伝わりインダス文明の発展に欠くことのできない食の基盤となっていたと考えられる[96)116)]。この時から稲は各地に伝播し，その地方の主要な糧となり文明発展の基礎となった。日本には紀元前3世紀頃に伝播し，これを境に数千年続いた狩猟時代から集落を基本とする農耕時代へと大きく変り，国家成立とその文明発展の基礎となった[7)]。

日本に稲が伝播しわずか500年もたたない紀元1世紀頃には青森県まで広まったが，熱帯圏を起原とする稲が北緯43度に位置する寒冷地の北海道に試作[13)]されたのはそれから17世紀近くも後のことであった。

北海道で稲が経済作物として取りあげられたのは明治25年(1892)に北海道庁財務長として赴任した酒匂常明の北海道稲作論[79)]による稲作振興が礎となり，石狩川流域の開拓農民が次々と低湿地に水田を開き稲作を広めた頃からである。寒冷地の北海道に稲作の基盤が確立し安定したのは昭和に入ってからのことで，これはこの間の農民の努力[15.37)]と米生産技術の著しい向上によるところが大きい。

稲を奨励作物としてから100年にも満たない現在の北海道は水田面積26万ha，収穫量100万t以上の能力を持ち，昭和59年の10a当り平均収量[83)]は551kg(約9俵)で全国の平均収量を上回っている。この稲作規模は日本一であり，生産量の7割以上を本州大消費地に向けられるようになった。また北海道の農業総生産額に占める米の生産額も35%に達し，本道農業の基幹作物である。

一方国内における，米の自給動向は昭和39年を境に米の需要量が年々減少し，昭和46年から本格的な米の生産調整が行われた。この間，北海道における生産調整は食味の差を理由に本州のどの県よりも多く実施され，その面積もしだいに増加し昭和58年には本州各県の2倍以上の約5割近い生産調整が実施された。この原因は経済の発展による所得の増大が消費者の米に対する嗜好を量よりも質へと変化させたためである[75)]。特に北海道産米は昭和50年前半に東京，神奈川，愛知などの大消費地で食味に対する評価が低く，消費が激減するに及んで産米の食味向上は北海道稲作に取って重要な課題となった。消費者の北海道産米に対する食味の評価は東北，北陸のおいしいといわれている米と比較すれば硬くて粘りが少なく，冷飯でその傾向が著しいというものであった。

米の食味をその理化学的性質から研究が行われたのは大正から昭和初期における田所，佐藤ら[82.89)]の研究が最初である。戦後しばらくは米の増収に関連する研究[34.60)]主体でこの種の研究がほとんどど行われなかった。その後，米の需給が均衡するにつれて米の食味に関する研究が再度行われるようになってきた。

その代表的なものに谷，吉川，竹生ら[99)]の研究がある。この特徴は米の食味を示す分析値に飯の粘・弾性値を取り入れ，さらにすい飯特性値のうち加熱吸水率，膨張容積，アミログラム特性値のうち糊化温度，ブレークダウンの6要素が重要であり，これとパネルテストによる食味の総合評価値との重相関係数はきわめて高く，寄与率も70%以上であることを明らかとした点にある。この結果は米の食味が味の4原味などの味覚よりも，飯の理化学的性質によって支配されることを示唆するものである。

倉沢[54)]は新潟産「コシヒカリ」などの美味な米はアミロース含有率がきわめて低く，これが主な要因となって，澱粉の熱に対する糊化性を良化し飯の粘りをより強くすることを明らかにした。さらに飯の粘りは流体が示す粘性率とはいくぶん異なったものでむしろ飯粒の付着性に近いと考え，付着性を測定するための機器を考案した。

これらの研究はいずれも米の食味が米粒の大部分を占める澱粉の熱に対する糊化性と澱粉ゲルの老化性によって支配されることを示すものである。

したがって米の食味を向上するためには澱粉の熱に対する糊化性と澱粉ゲルの老化性に関与するものを食味の指標としこれを改善することが必要と考えられた。

二國[72)]は澱粉の科学的性質について究明し，

澱粉糊の物理的性質は澱粉の分子構造に依存することを明らかにした。檜作ら[12,93]は各種澱粉の熱糊化性の相違がアミロースの糊化性に支配されていることを明らかにし，さらに澱粉糊の老化の温度依存性を検討し，澱粉糊の老化には量的にアミロペクチンよりはるかに少ないアミロース分子が主導的役割を果していることを明らかにした。

以上のような食味に関係する澱粉の性質はこれが植物体内で合成される場合の条件によって十分に変り得ることを中村[70]は示唆した。

こうした研究は北海道産米の食味向上の手法とその可能性を示唆するものであった。本研究の目的は北海道産米の食味を向上するために澱粉の性質を熱糊化し易く，老化し難い性質を付与することにあった。その第1段階として迅速，少量，簡易な食味成分分析法を確立し，それによって北海道産米の理化学的性質を明らかにした。第2段階としてアミロースを中心とする澱粉の性質と栽培環境変異との関係を明らかにした。これらの解明は食味の向上に有効と推測される具体的手法を示唆するものであった。そこで以上の結果に基づいて食味向上のための良食味品種の育成とその栽培技術を確立するための試験を行った。本研究から，北海道産米の食味向上に関する幾つかの新しい知見が得られたので以下取りまとめ報告する。

〈謝辞〉本論文をとりまとめるに当り，東京大学農学部教授熊沢喜久雄博士には，終始懇篤なるご指導を賜わり，かつ，ご校閲の労をおとりいただいた。

この研究を遂行するに当り，大阪大学名誉教授であられた，故・二國二郎博士，東京大学名誉教授中村道徳博士，江南女子短期大学教授前田巌博士，東京大学農学部助教授茅野充男博士，北海道立中央農業試験場農芸化学部主任研究員水野直治博士，前北海道立上川農業試験場長長内俊一博士，北海道立工業試験場長吉町晃一博士には有益なご指導とご助言をいただいた。

本研究を実施するにあたり北海道立中央農業試験場企画情報室企画科佐々木忠雄氏，北海道立中央農業試験場稲作部育種科新井利直氏には有益な論議を共にし，かつ実験に際して絶大なるご協力とご援助をいただいた。

北海道立中央農業試験場長森義雄氏，北海道立中央農業試験場稲作部長佐々木多喜雄博士，同農芸化学部長髙尾欽弥氏，同稲作部栽培第一科長関口久雄氏にはご指導とご鞭撻をいただいた。さらに本研究の初期の段階でこの研究を遂行するに当り，元北海道立中央農業試験場長茅野三男氏，同元稲作部長小山八十八氏，同前稲作部長男沢良吉氏，同化学部特別研究員渡辺公吉氏，同環境保全部環境保全第二科長黒川春一氏，元北海道立上川農業試験場長森哲郎氏，北海道農業試験場作業第1部長柴田和博氏には有益なご指導とご援助をいただいた。

本研究を実施するに当り，北海道立北見農業試験場土壌肥料科今野一男氏，北海道立中央農業試験場中央専技室主任専技前田要博士，同環境資源部環境保全科長土居晃郎氏，空知中央普及所渡辺常一郎氏にはご協力とご助言をいただいた。また取りまとめに際し北海道立十勝農業試験場土壌肥料科長沢口正利博士，北海道立中央農業試験場農芸化学部土壌肥料長鎌田賢一博士にはご協力とご援助をいただいた。

一連の研究を遂行するに当り北海道立中央農業試験場稲作部職員各位には終始ご援助と献身的なご協力と便宜を計っていただいた。

以上の各位に対し深く感謝の意を表する。

第Ⅰ章　食味特性成分分析法の検討

食味特性成分の分析法は分析値を活用する研究の需要を満すものでなければいけない。北海道産米の食味向上は良食味品種の育成とその栽培技術確立が重要であり，これに必要な分析法は迅速，正確，省力であり，なおかつ必要な分析試料が微量であることが望まれるが，これまで米の食味を究明するために用いられてきた分析法[74]は本研究を進める上でそのまま活用するには不十分な点があった。一方分析項目は本研究が目指すところの熱糊化し易く老化し難い性質を表現できるもので遺伝的変動と環境的変動のどちらもバランスよく評価でき，さらに変動巾は分析の精度を考慮してより大きなことが望まれる。

本章ではこのような必要用件を勘案して分析項目としてアミロース，澱粉，蛋白，脂肪，灰分，テクスチャー，老化性，古米化およびアミログラム特性値を選定し，それぞれの分析方法には，でき得る限り迅速，正確，省力，に重点をおいて検討した。

第１節　アミロース含有率の自動分析法

アミロース含有率の分析法はアミロースがヨウ素と結合してアミロース・ヨウ素複合体を形成する性質を利用したものが多い。アミロース含有率の定量法は重量法[100]，ヨウ素呈色比色法[61]，電圧[4]，電流滴定法[44]，クロマト法[94]がある。これらの分析法は，アミロース含有率を正確に測定できるが迅速，省力，試料の微量の点で不十分であった。そこで本研究に適した分析法を確立するためにテクニコン社(U・S・A)のオートアナライザーによるアミロース分析法を検討した。

オートアナライザーは1950年に臨床検査用の血液自動分析装置として米国で開発されたもので，連続流れ方式を採用しているために，他の分析法に比較して迅速，省力，正確，試料の微量化を特徴としている。本機を使用した米のアミロース分析には試料の調製法，測定条件，アミロース含有率の算出法などの検討が必要である。

試料の調整法は稲１株から生産される700～1200粒，10～20ｇの少量な籾を脱穀，籾すり，精米，粉砕，篩別の各作業が必要となる。脱穀は米麦小型脱穀機（白川農機）が稈長，穂揃のいかんに拘らず１株を0.5～1.0分で脱穀できるため，これを用いることが有効であることが認められた。籾すりは，ロール式籾すり機よりも風圧真空脱稃機，（施風号，Ａ－10型）は10～20ｇの籾をほとんど瞬時に100％近く脱稃でき，本研究のための籾すりに有効であることが認められた。精白は，７～15ｇ極少量の試料に極小型精白機（ケット社，パーレスト），100～200の少量試料に小型精白機（ケット社，ＴＰ－２型），１～２kgの中量試料に中型精白機（佐竹社，ワンパス）が効率よく精白でき，本研究に十分適用できることが認められた。アミロース含有率に対する搗精歩合の影響は93％まででやや低く，それ以下の搗精ではほとんど一定の値となる。したがって米粉からアミロースを分析する場合は93％以下の搗精歩合にする必要があった。

本研究のための製粉機は粉砕作業を連続的に行っても試料が加熱せずに微粉状となることが必要であるが，テストミル（西ドイツ，ブラベンダー社）は４ヶの金属製のロールのすきまを通過するだけで迅速に連続的な粉砕ができ，本研究のような熱糊化性を測定するための試料調製に適する。しかし本機を用いた少量試料の連続粉砕は前後の試料の混入する危険性が認められた。これらをたしかめるため粳(イシカリ)と糯(かむいもち)を交互に５回連続して粉砕し，粳のアミロース含有率を測定した。この時の粳，糯の粉砕はそれぞれ５，10，15，20ｇについて検討した。この結果を分散分析しTable 1 に示した。粳の反復間および５～20ｇの試量間に有意差が認められず，平均値は各処理ともほとんど同じであった。したがって，この製粉機で５～10ｇの極少量であっても前後試料の混入がなく，本研究に十分適用できることが認められた。

本法では，アミロース，ヨウ素複合体の青色を測定するため，分析に当ってアミロース脂質複合体の影響が考えられた。そこでアミロース測定に

Table. 1. The effect sample mixture on milling waxy and non-waxy rice alternately.

Factor	D.f.	S. S.	M. S.	F
Total	19	126	13.667	
Sample Weight	3	41	13.667	2.83 n.s.
Replication	4	27	6.750	1.40 n.s.
Error	12	58	4.833	

Sample weight : 5, 10, 15, 20g

対する脂質の影響を検討した。85%熱メタノールによる脱脂米粉は無脱脂米粉より見かけ上の測定値が0.6%高く，両者には r=0.969(n =17) の有意な相関が認められたことから，検量線の作成試料も無脱脂米粉を用いれば脱脂の必要性がないと判断した。

オートアナライザーを用いたアミロースの分析には固体処理サンプラー，秤量ポンプ，分析カートリッジ，比色計，記録計を組合せて使用した。まず，固体処理サンプラーのホモジスピードを検討した。ホモジスピードは米粉を膨潤させるために使用するアルカリの濃度や浸漬時間にかかわりなく，4,000rpmで十分なことが認められた。米粉を膨潤させるため使用するアルカリは，水酸化ナトリウムとし，その濃度は0.05Nで良いことが認められた。この時の浸漬時間は米粉組織の膨潤と関係し，長時間浸漬では糊化，分散が進むためアミロースの分析値がわずかに高まる。このため浸漬時間は一定することが望ましいが，現実の分析ではきわめて難しいので浸漬後2～12時間の浸漬で分析すれば0.3%以内の差で測定できることが明らかになった。

本分析は連続流れ分析であるため前試料の影響を消去する目的で試料間に洗滌液を流す。アミロースはFig. 1に示すように酸性でヨウ素と複合体を作りpH10～11のアルカリ性で複合体を解く性質を持っている。そこでアミロース分析の場合はこの性質を利用して洗滌液を1N－NaOHとし，洗滌時のセル中のpHを高め，前試料分析時に付着したアミロース，ヨウ素複合体を分解し洗い流すことによってテーリングを防止することができた。またセル中のpHをFig. 2に示したように連続流れ分析でテーリングを起こさず安定した分析値は測定時5.6，洗滌時10.8にすることによって得られた。

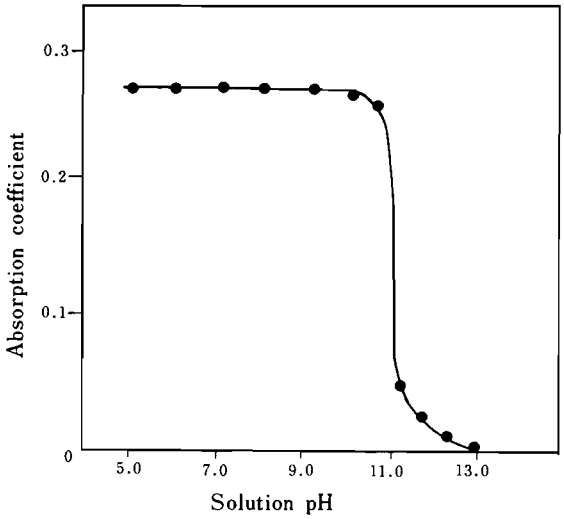


Fig. 1. Relationship between absorbance of amylose-iodine complex and solution pH.

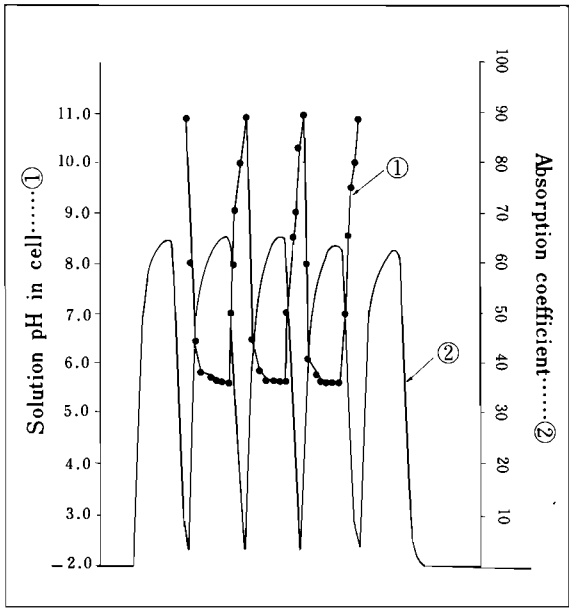


Fig. 2. Relationship between pH and absorbance of amylose-iodine complex in a call.

Table. 2. Acids used for neutralization.

Acid type	Molecular formula	Tailing percent
Sulphuric acid	H_2SO_4	3.7
Hydrochloric acid	HCI	2.9
Nitric acid	HNO_3	2.9
Phosphoric acid	H_3PO_4	0.3
Perchlolic acid	$HClO_4$	4.0
Succinic acid	$H_2C_4H_4O_4$	3.3
Tartaric acid	$H_2C_4H_4O_6$	3.1
Citric acid	$H_3C_6H_5O_7$	0
Oxalic acid	$H_2C_2O_4$	2.4
Acetic acid	CH_3COOH	2.8
Formic acid	HCOOH	3.9
Lactic acid	$CH_3(OH)COOH$	14.8
Boric acid	H_3BO_4	11.4

$$\text{Tailing percent} = \frac{B}{A} \times 100$$

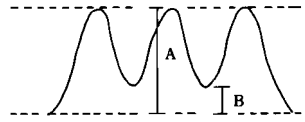


Table 2 に示したようにテーリングは使用する酸の種類によって異なった。望ましい酸の種類はクエン酸≧リン酸＞蓚酸≧酢酸＝塩酸＝硝酸≧酒石酸≧コハク酸＞硫酸＝蟻酸＝過塩素酸＞ほう酸＞乳酸の順であった。クエン酸は最も良い結果を示したが，セル中のpHをより安定にするためにはクエン酸,酢酸緩衝液を使用することが有効であった。

このようなアミロースの連続流れ分析法の検討結果からFig. 3 に示すアミロース分析用のフローダイヤグラムを確立した。米粉100mgを秤量し，これに 5 mℓの0.05N－NaOHを加えたものを固体処理サンプラーにセットする。この試料は自動的に95mℓの水で希釈されホモジナイザー中で懸濁液となり，14Turnのミキシングコイル中にストックされる。このストックされた試料を分析している間に次の試料を懸濁液とする。このような繰り返しがスムーズとなるように固体処理サンプラーのダイヤグラムを調整した。ストックした試料は0.4N－NaOHと混合し93℃の加熱槽で溶解する。この系での溶解温度は93℃が良く，それ以下では溶解が不十分であって，それ以上ではアミロースの分解が起こった。溶解後の試料液はクエン酸・酢酸緩衝液で中和し，これにヨウ素標準液を加えて50mmのフローセル中で620mmの波長で吸光光度を測定する。600nmのフローセルを使用する理由は分析系に使用した管の壁面に試料の付着をできる限り少なくし，テーリングを防ぐため試料溶液を低濃

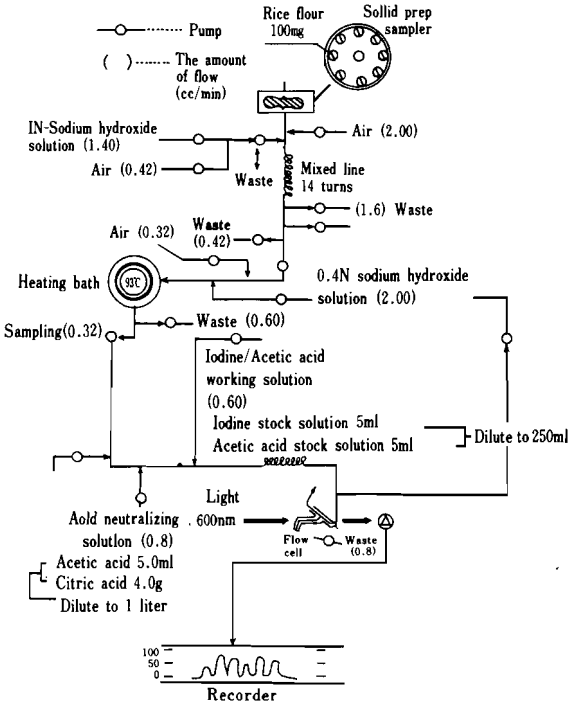


Fig. 3. Process of amylose determination.

Table. 3. Results of limited volume for analysis.

Sample weight (mg)	Varieties				Sensitivity
	Nōrin20		Kitahikari		
	Amylose content	C. V.	Amylose content	C. V.	
10	20.5	2.01	21.5	2.35	9.0
25	20.1	1.20	21.1	1.02	9.0
50	20.3	0.75	21.7	0.82	5.0
75	20.1	0.48	21.3	0.46	5.0
100	20.0	0.42	21.0	0.41	5.0
150	20.0	0.40	21.4	0.38	4.0
200	20.2	0.42	21.8	0.43	3.5

度にしたためである。

本分析法による分析試量の限界値を明らかにするために電流滴定法によるアミロース含有率で，1.2%の差が認められる「キタヒカリ」と「農林20号」を用いて，この両品種の識別がどの程度までの試量で可能かを検討し，その結果をTable 3に示した。これからカロリーメーター感度を最大近くの9.0とすると10mgまでの試量で識別が可能であることが明らかになった。これは米粒のほぼ半分の重量であり，成分育種で望まれている最少量の分析試料と一致した。なお通常の分析には分析値とその変異係数から100mgが適当と判断された。

つぎに検量線の作成方法を検討するために米のアミロース，アミロペクチン固体とその溶解液を用いた結果をFig. 4に示した。これから①アミロース固体，③アミロース，アミロペクチン固体混合物は不規則な検量線となった。②アミロース溶解液，④アミロース，アミロペクチン溶解液はいずれも安定した検量線となった。アミロース10%の試料はこの検量線で9.9，9.6%となり，絶対値に近い結果が得られた。しかし溶解液であるためアミロースの老化や変質が起こり易いこと，さらに実際の分析では必ず米粉中の澱粉含有率を分析しなければいけないことなどのことから簡易，迅速性を欠き不十分であった。そこで粳米粉と糯米粉の混合物を用いた検量線の作成法について検討し，

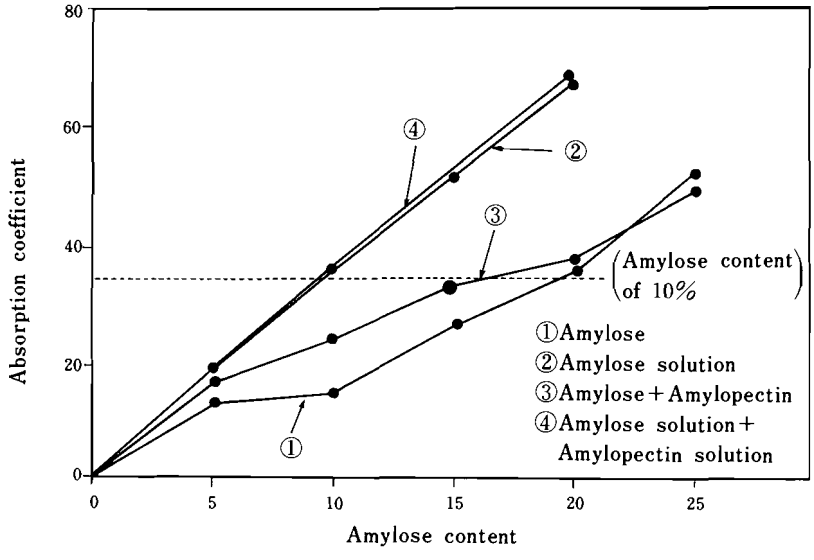


Fig. 4 . Variations in absorption curves caused among differently treated amylose.

その結果をFig. 5に示した。すなわち，道産米中で最もアミロース含有率の高い試料のアミロース含有率を正確に測定しておき，これと糯米を混合してアミロース含有率がそれぞれ5，10，15，20，24%となるように調整した。つぎにこの試料を分析試料と同じ100mg秤量し同様に測定し，この結果から検量線を得た。この方法では試料が米粉であるため，水分管理さえ注意すればかなり長時間保存使用でき，分析試料と同じ操作するだけでよい

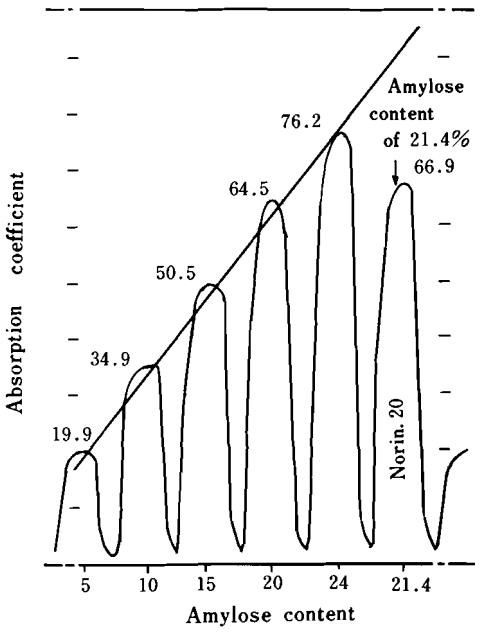


Fig. 5. Absorption curve of amylose in rice flour.

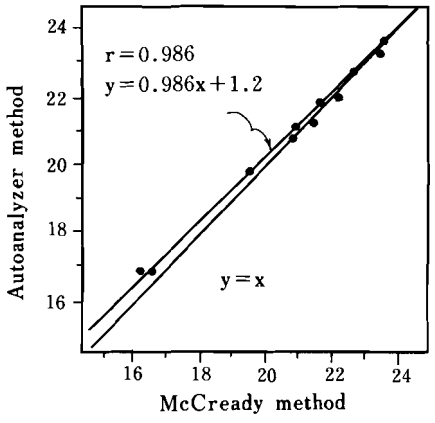


Fig. 6. Comparison of amylose content determined by two analytical methods.

利点を有する。さらに米粉をそのまま用いるのでアミロースの重合度分布が分析する試料と類似しており，ヨウ素呈色の吸光頂点が分析試料に近く，より正確なアミロース含有率を計算することができた。白米中の澱粉含有率の変異は通常の育種試料で4%以内であり、この差は20.0%のアミロース含有率のもので20.0±0.4%である。この値は最大値であり大部分はこれより小さく成分育種などでは補正しなくて良いと考えられる[31]。

以上のようにして確立したオートアナライザーによるアミロース（測定値）とMcCreaby法によって得られたアミロース(測定値)の相関をFig. 6に示した。これから両者の相関係数は r＝0.986（n＝12）ときわめて高く，十分に実用に耐え得ると判断された。

第2節　澱粉、蛋白、脂肪、灰分の分析法

米粒中の澱粉，蛋白，脂肪，灰分含有率の分析をこれまでの一般的な手分析法でおこなえば一点につき154分ほどの時間と12.5gの試料が必要でこれらは成分育種の分析法として利用することは不可能であった。このため，これらの項目を少量試料で迅速，簡易に分析するために近赤外分析法による4成分の同時定量法を検討した。

インフラライザーによる澱粉の定量：米粉中の澱粉含有率の分析法を確立するためにインフラライザー500を用いてアルカリで米粒より抽出した澱粉の近赤外吸収スペクトルを取り，その1次微分スペクトルをさらに微分した2次微分スペクトルを計算しFig. 7に示した。これによると米澱粉が持つ特徴的な吸収ピークは1,722，2,100，2,190，2,270nmであり，この波長と標準波長を組み合わせて手分析値に対し最高の相関となり，なおかつその標準誤差が最小となるような重回帰式を作成した。なお，この図中の1,445，1,940nmの近赤外吸収ピークは澱粉中に含まれている水分子のものである。

精白米中に含まれる澱粉含有率の手分析は米粉100mgを100mℓの0.7N－HClで3時間，100℃で糖化しこれをフエリシアン化カリウム還元法でブドウ糖として定量しこれに0.9を乗じ，さらに別に定量した可溶性糖を除いた値を用いた。Fig. 8は澱粉含有率の手分析値とインフラライザーによる分

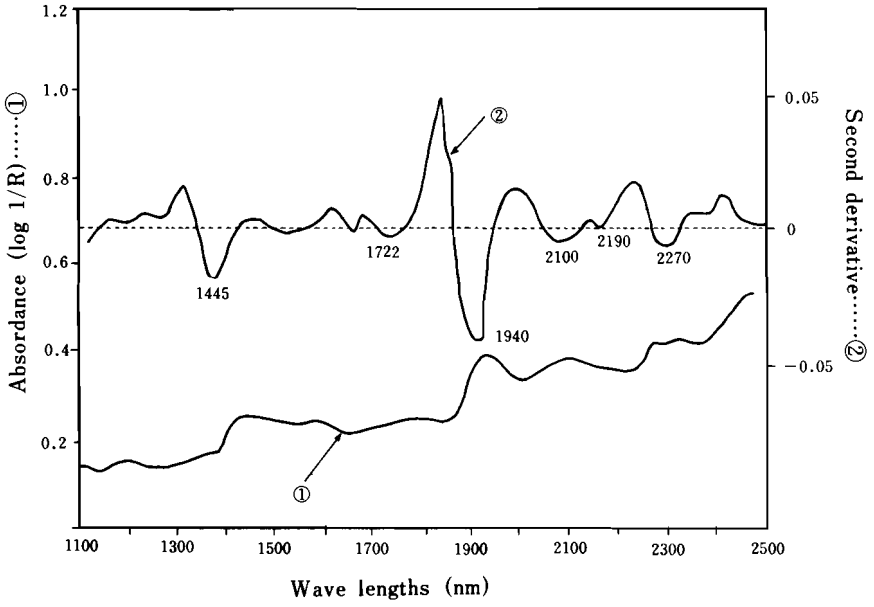


Fig. 7. NIR spectra of rice starch and its second derivative.

析値の相関を示した。精白米中の澱粉含有率の変異が3～4％と小さいために測定誤差の影響が大きく，相関係数は r＝0.892（n＝15，0.1％水準で有意）であり，この種の相関としてはあまり高くはないが，実用に利用でき得るものであった。

インフラライザーによる蛋白質含有率の定量：蛋白含有率の手分析値はセミミクロ，ケルルダール法によって全窒素を定量し，これに米の蛋白質換算計数の5.95を乗じたものである。米の蛋白質が持つ特徴的な吸収ピークは1,734，2,180，2,190，2,208，2,348nmで認められた。これらの波長と標準波長を組み合わせ，70点の試料の手分析値とその試料の波長ごと反射吸光値を重回帰分析の手法で演算処理2・1の重回帰式を作成した。

蛋白含有率(％)＝9,557＋391,014 α_1－267,642 α_2－157,365 α_3……2・1

α_1＝2,180nmの反射吸光度
α_2＝2,100nm　〃
α_3＝1,680nm　〃

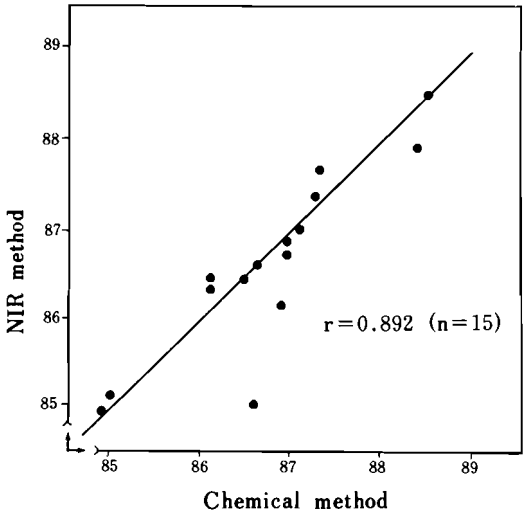


Fig. 8. Comparison of starch content determind by chemical and NIR method.

Fig. 9は蛋白含有率の手分析値とインフラライザーによる分析値の相関を示した。精白米中の蛋白含有率の変異を大きくするために供試試料の中に高蛋白系統を入れたことで相関は r＝0.993(n＝70，0.1％水準で有意)となり，実用的に十分なものが確立できた。

インフラライザーによる脂肪含有率の定量：脂肪含有率の手分析は85％熱メタノールで抽出した。すなわち10gの米粉に100mℓの85％メタノールを加え還流管をつけ，かるい沸騰状態で30分抽出し濾過した後，この操作を3度くり返し，得られた濾液を蒸発乾固しこの量から濾液中の糖含有量を除いたものを脂肪含有率とした。この手分析値とイ

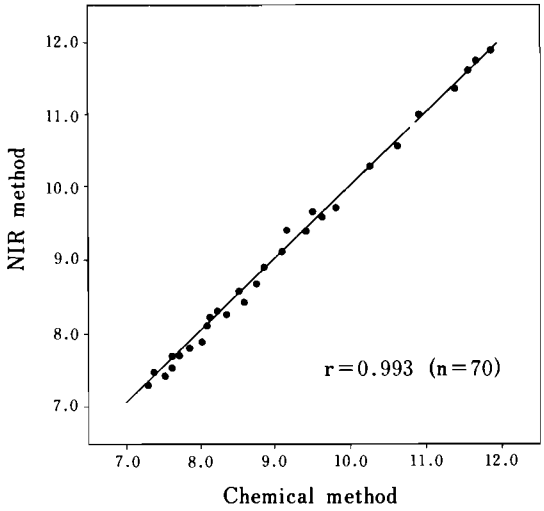


Fig. 9. Comparison of protein content determined by chemical and NIR method.

ンフラライザーによる分析値には r=0.566(n=25, 1%水準で有意) の相関が認められた。この相関係数が澱粉含有率，蛋白含有率よりも著しく低くなっていたのは熱メタノールで全脂質が抽出されないためと考えられた。しかし，この重回帰式による分析は脂肪含有率の多少を簡易に知りたい場合に有効であった。

インフラライザーによる無機成分の定量：無機成分は近赤外域での吸収がないために近赤外分光機器による測定は不可能と考えられていた。しかし，米粒中の無機成分の一部は有機成分と結合しているために，この有機成分の測定から間接的に無機成分の測定がある程度まで可能なことが明らかになった。米粒中の灰分含有率の手分析値は白米粉10 g に硝酸マグネシウム，アルコール混液を 5 mℓ入れ燃焼後，マッフル中で600℃ で 5 時間加熱しこの重量から硝酸マグネシウムのブランク値を除いたものとした。Fig.10に灰分含有率の手分析値とインフラライザー分析値の相関を示した。相関係数は r =0,832(n =100, 0.1水準で有意) と蛋白含有率に比較すれば低い値であるが育種現場の選抜用の分析としては十分に利用できると考えられた。この重回帰式を用いた灰分含有率の分析は 3 ヶ年間，3 万点の育種材料を分析しこの間 2 度の手分析値との照合でもこの程度の相関値の得られることを認めた。

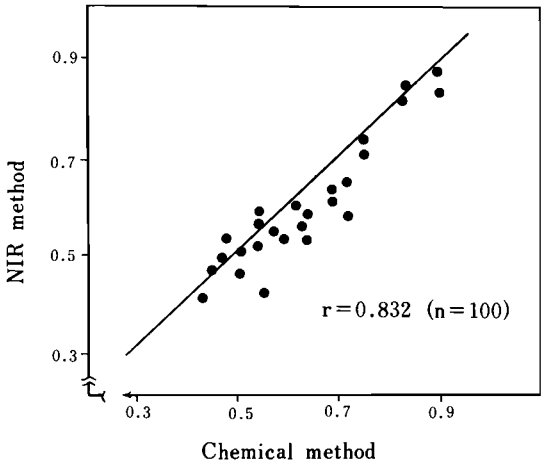


Fig. 10. Comparison of ash content determined by chemical and NIR method.

インフラライザー分析時における試料粒径の影響：Fig.11は米粉の粒径が210 μと89 μの近赤外線スペクトルを示した。積分球測光方式では粒度が大きくなるほど反射吸光度は高くなる。このため重回帰式を作成する時に用いた米粉の粒度分布とルーチン分析時の粒度分布はなるべく同一にする必要性が認められた。たとえば蛋白含有率の測定では重回帰式を作成する時の粒度よりルーチン分析の方が大きい場合は手分析値より高く，逆に小さいと低い値となった。石英セルの受光部に付着する米粉の影響も大きく，付着した米粉を刷毛で

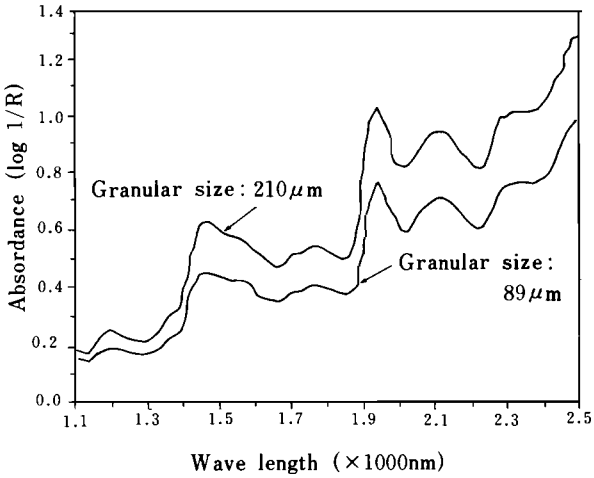


Fig. 11. Comparison of spectra between coarse and five rice flour.

取り除く必要があるが，静電気が発生し完全な除去が困難であった。そこで静電気防止剤をセルの受光部以外の所へ塗布すると良い結果が得られた。また，ランニング巾は近赤外分光機器の温度が22℃近くの一定であることがよく，試料の温度もそれに近いことがより安全な値を得るために必要であった。すなわち，試料温度が22℃より高いと手分析値よりもインフラライザー分析値が高くなり特に水分含有率は他成分よりこの傾向が大きくなった。また，石英セル中の米粉の密度も分析値に影響するのでルーチン分析では均一な密度でつめる必要のあることが認められた。以上の結果，澱粉，蛋白，脂肪，灰分含有率を米粉5ｇの少量試料を用いて1分間で4成分同時定量でき得る手法を確立し，この精度は育種の成分選抜に有効であることが明らかになった。なお，本分析法は非破壊分析法であるため分析に用いた5ｇの試料は測定後そのまま他の分析に利用できる。

第3節　テクスチャーの分析法

飯のテクスチャーを物理的な数量として捉える必要が認められた。飯の物理的な数量としての測定は倉沢ら[57]の上皿天秤の改良装置や竹生[103]の平行板プラストメーターによる方法がある。これらの方法は測定に長時間を要し，かつくり返しによる変動が北海道の品種間差に近く，本研究に適応することは困難であった。SZCZESNIAKら[5]は食品のテクスチャーを数量的に捉えるために，人間が物を噛む時の口腔作用を模型的に調べ，その結果を基にして，駆動モーターで上顎を上下に運動させ，咀しゃく時の応力変化をオシロスコープによって測定するテクチュロメーターを開発した。

本研究ではこのテクスチュロメーターの利用を検討した。

Fig.12は10品種の食味試験の粘りとテクスチュログラム粘り値および平行板プラストメーターで測定した粘性率の関係を示した。食味試験の粘りに対する相関はテクスチュログラム粘り値の方が平行板プラストメーターによる粘性率よりもはるかに高いことが認められた。飯粒の粘り，確さは流体の粘性率，弾性率と異なるものと考えられる。すなわち飯の粘りは粘性率よりは口腔の中で噛む時に感

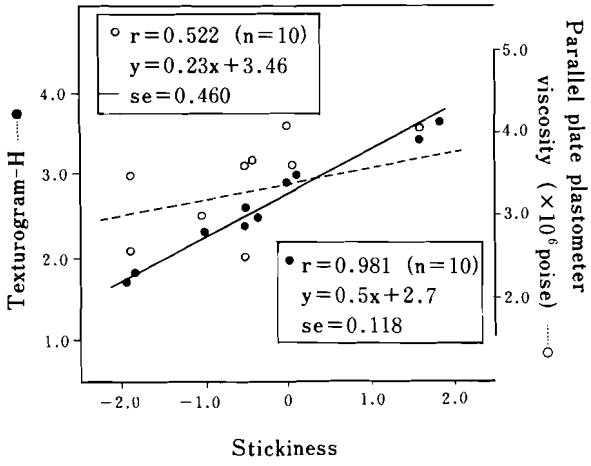


Fig. 12. Relationship between stickiness and texturometer.

ずる付着性に近く，硬さは弾性率よりはむしろ飯粒がつぶされる時に必要な仕事量に近いと考えられる。この意味でテクスチュロメーターによる飯の物理的な測定は粘性率，弾性率より飯の食味に近く，本研究に必要な飯の物理的な数量を捉えるのに適すると判断した。

テクスチュロメーターによる米飯の測定法を確立するために咀しゃく部について検討した。咀しゃく部は，アルミカップで炊飯したものをそのまま測定する方式から飯粒を測定するためのものに改良した。すなわち受け皿を直径100mm の平皿とし，プランジャーは22mmのアクリル樹脂製のものとした。さらに粘り（－H）と硬さ（H）を同時測定できるように付着性強張2本アームを採用した。感度を示す電圧は2Vが硬さ，付着性の変異から考えて適当なことが認められた。咀しゃくの速度を示すテクスチュロスピードは1分間に6回が最適でありこれより早いと付着性の変異が大きくなり，測定の繰返し数を増すことが必要となる。

飯粒をつぶす時のプランジャーと平皿のクリヤランスは試料間の差や測定値の再現性に関係する。Fig.13に粳米と糯米の飯粒を用いてクリヤランス0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0mmの6段階で硬さ，付着性を測定した結果を示した。

粳と糯の差は硬さでクリヤランス0.2mm, 付着性で0.2, 0.4mmが最大値となっており，試料間の硬さ，付着性を測定するのに適するクリヤランスは0.2

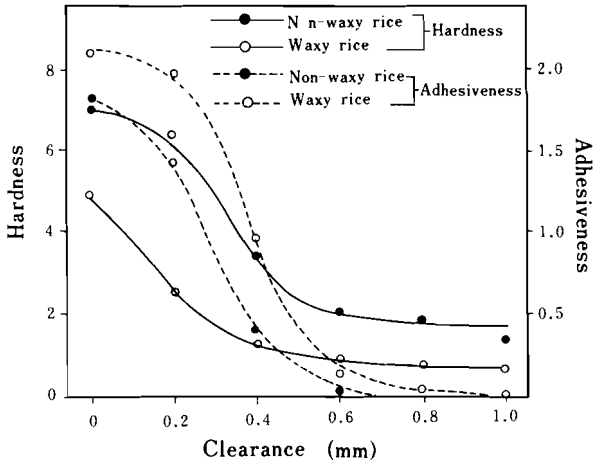


Fig. 13. Relationship between hardness and adhesiveness with respect to the clearance below the plunger.

または0.4mmと考えられた。繰返し分析した値の変異係数は0.4mmよりも0.2mmが小さいことから，クリヤランスの最適値を0.2mmとした。

測定に供する粒数について検討した結果をTable 4に示した。硬さは1回の測定に供する粒数が多くなるほど高くなる。付着性は3粒まで著しく高まるが4粒との差は少なかった。繰返し分析した値の変異係数は硬さ，付着性ともに3粒まで著しく低くなるが3粒と4粒の差は僅少であった。したがって1回の測定に供する飯粒は3粒で十分であると考えられ，本分析では3粒を放射状にならべて測定することにした。

本研究は多くの試料を簡易に迅速に分析する必要がある。そのためには，テクスチュロメーターにかけるための少量炊飯法を確立することが必要であった。そこで少量すい飯法の確立に電気釜，内釜容器，試料量，内釜水量，加熱時間，浸漬時間，むらし時間，放置時間の8条件について個々に適条件を検討した。その結果から最適条件に近い2条件を個々に選択し，これに2品種を加えてL_{32}直交表を用いて各条件の主効果および交互作用を推定可能となるようにわりつけた。

実験は内釜容器内の飯の中心部から3粒取り出して測定し，この3反復の平均を内釜容器の測定値とした。1処理は5ヶの内釜容器とし，この平均値と5内釜容器間の変異係数を用いて，それぞれの項目を分散分析した。この結果はTable5に示した。またFig.14にはこの分散分析に用いたテクスチュログラムとその特性値を模式図に示した。

Table 5に示した分散分析での交互作用はすべ

Table. 4. Effect of grain number on the determination of hardness and adhesiveness.

	Mean	Standard deviation	C. V.
1 grain			
Hardness (H)	2.21	0.57	25.8
Adhesiveness (−H)	0.77	0.20	26.0
2 grains			
Hardness (H)	4.41	0.55	12.5
Adhesiveness (−H)	1.12	0.19	17.0
3 grains			
Hardness (H)	6.81	0.64	9.4
Adhesiveness (−H)	1.44	0.19	13.2
4 grains			
Hardness (H)	7.84	0.80	10.2
Adhesiveness (−H)	1.47	0.19	12.9

Table. 5. Statistical examination of cooking methods.

Treatment	Analysis of variance (F test)			
	Hardness (H)	Adhesiveness (−H)	H/−H	−H/H
Electric rice cooker		2.43	2.07	2.21
Receptacle	1.96	1.99	3.95	2.73
Sample weight		6.49*	4.40	3.06
Water quantity	4.12	19.35**	22.20**	18.20**
Variety	2.77	5.90*	9.26*	7.09*
Boiling period	1.13	2.94	3.70	3.53
Water absorption period				
Steaming period		3.14	2.33	2.21
Keeping period				

*、**：Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

てに有意性が認められなかった。この結果は検討した9条件相互の水準を変えても測定値が逆転するような複雑なものでないことを意味する。測定値に影響を与える炊飯条件は最も大きいのが内釜水量次いで品種，試料重量の順となっていた。

−H, A_3, H/−H, −H/Hは品種差が有意である。これらは第1回の咀しゃくで測定できる項目であり，咀しゃく回数は一回で十分と考えられた。

H/−HのF値は−H/Hより大きいことから，品種の測定にはこれを用いると良いと考えられた。

この分析に用いる炊飯法は炊飯条件によるバラツキが最も小さくなり，試料間の差ができるだけ大きく表現できるものでなければいけない。このためには電気釜：東芝RC184……①，内釜容器：ゼリーカップ（底50mm∅，口経70mm∅，高さ40mm），試料：20g，内釜水量：試料重量×1.75倍，加熱時間：20分，浸漬時間；30分(25℃)，むらし時間；20分，放置時間；1時間の条件が適当であった。なお内釜水量は別の検討から収穫後6ヶ月のものは試料重量×1.50倍，それ以降は試料重量×1.75倍が良かった。飯は炊飯後そのまま放置したりビーカーに移したりすると表面がかわき，側面および底部が過湿となるので，この問題を除去するため，炊飯後ただちに杉箱（縦65mm，横65mm，高さ40mm）に入れて上からガーゼで蓋をすることによってこの問題は解決された。一般的な飯の物理的性質と一致し良い結果が得られた。内釜水量は飯のテクスチュログラム特性値に影響するため，炊飯中に水滴が入らないように中蓋をかけ内釜容器が炊飯器の側面につかないようにするとよいことが明らかになった。さらに炊飯時に均一な熱量がかかるように電気釜中の5ヶの内釜容器を底につけないため台を作って，これにのせ炊飯をすると良い結果が得られた。

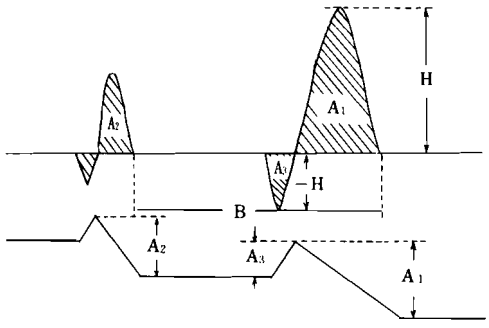


Fig. 14. Texturogram value determination.

H…Hardness, A_2/A_1…Cohesiveness,
A_3…Adhesiveness, C−B… Springiness,
$H\times(A_2/A_1)$…Gumminess,
$H(A_2/A_1)\times(C-B)$…Chewiness

本研究に用いる分析値は飯の性質をよく表現し，試料間の差が大きい方がよい。品種間で有意差を示すのは−H，A_3，H/−H，−H/Hであった。

本分析法で測定したテクスチュログラムの略図

をFig.15に，硬さ，付着性の仕事量を示す A_1，A_3 とそのピーク値を示すH，－Hの関係をFig.16に示した。分析値はチャート上から読み取り易いものが良い。付着性の仕事量を示す A_3 のチャート上の面積がきわめて小さく読み取りに時間がかかり誤差も大きい。－Hと A_3 には $r=0.991$（$n=15$）の有意な相関が認められ－Hの値のみで十分であり，この値を「粘り」と呼ぶことにした。またHと A_1 にも $r=0.988$（$n=15$）の有意な相関がありH値を用いることにした。H，H/－H は1V当量値で－Hは5V当量値で表示することが利用しやすかった。

1ヶの容器から3粒ずつ50回測定し，さらに別に1ヶの容器から3粒ずつ5回測定しこの反復の10回の値から検討した。1ヶの容器から3粒ずつ5回の測定で95%の信頼限界は硬さ（H）でm±0.19，粘り（－H）でm±0.28であり，2ヶ容器の10回測定値の平均値では硬さでm±0.13，粘りでm±0.20であった。したがってルーチン分析では1ヶの容器から3粒ずつ5回測定し，これを反復した10回の平均値を用いれば十分であることが明らかになった。

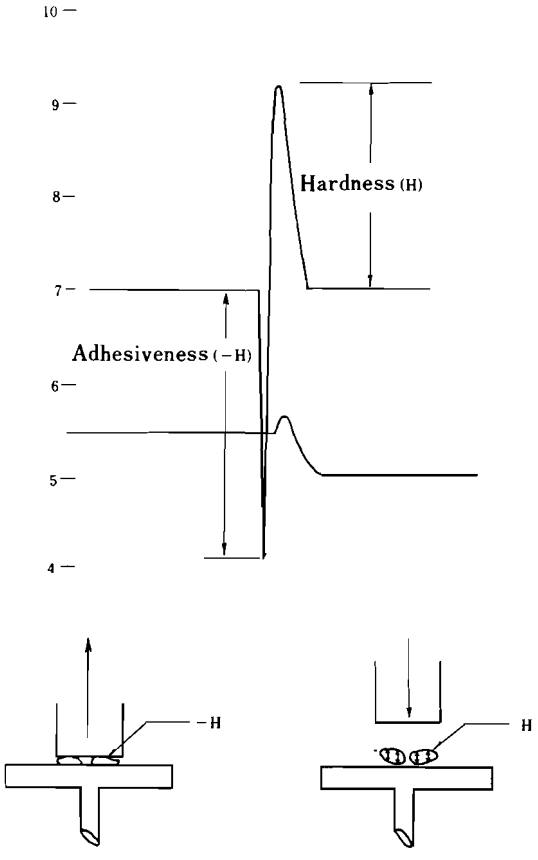


Fig. 15. Texturogram.

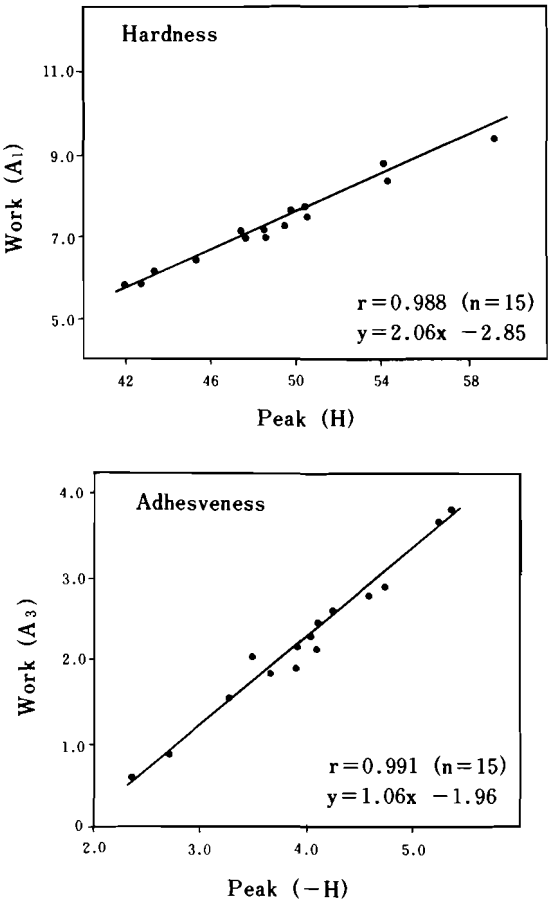


Fig. 16. Relationship between the peak value and work value.

第4節　老化性の分析方法

飯を放置するとしだいに粘りを失ない硬くなり「ボロボロ」した食感となる。これは炊飯時に糊化した澱粉が老化したことによる現象であり，北海道産米は特にその傾向が大きく食味特性に不利に働いている。したがって北海道産米に老化し難い性質を付与する必要があり，迅速で簡易な分析法が必要となった。

糊化と老化は表裏をなすものであり，物理的性

質，分子の存在状態で逆の関係にある。すなわち老化は糊化した澱粉が元の生澱粉のように水に溶けにくくなり部分的に結晶性を回復する状態であり，この分析に主として用いられる方法は酵素消化法，沈澱量の測定法，糊液の透光度の測定法，物理的性質の測定法などが挙げられよう，この中で酵素消化法は澱粉糊の老化性を適切に数量的に評価できる方法として広く用いられており，飯の老化度の測定にも良い結果[36]が得られている。酵素消化法にはジアスターゼ法[114,122]，グルコアミラーゼ法[109]，β－アミラーゼ，プルラナーゼ（BAP）法[40]が一般に用いられている。β－アミラーゼ，プルラナーゼ(BAP)法はジアスターゼ法，グルコアミラーゼ法よりもアミロペクチンの構造変化を捉えており，糊化澱粉と老化澱粉の識別性が高く飯の老化を十分にとらえることができる。しかし測定法が複雑で，分析に長時間を要し，成分育種の選抜法に用いるには不十分な面も多い。老化澱粉は糊化澱粉よりも結晶質部分や澱粉分子のO，H間の水素結合が増加すると考えられているが[10]，このような老化による水素結合の変化は近赤外域での反射吸光度として十分に測定できると考えられた。すなわち結合したO－H基の基準伸縮振動は2.80～2.90μにあり，遊離のO－Hは2.74～2.79μの間にある。このシフトは水素結合によって起こるものであり，近赤外域での倍振動も類似であるからである。

そこで近赤外分光機器インフラライザー500を用いた老化度の測定法を検討した。実験に用いた試料は北海道産と本州産の2品種で，炊飯後ビーカーに移し温度0，5，20，40，60℃の4段階の恒温器に0℃で3日，5℃で1，2，3，7日，20℃で2，3日，60℃で1日放置したものと炊飯直後のものを作り，これを10倍量のエチルアルコール中でホモゲナイザーを用いて懸濁液としながら脱水し，エーテル洗浄後すみやかに低温減圧乾燥し粉末化した。老化度はこの試料を用いてβアミラーゼ，プルラナーゼ（BAP）法を用いて糊化度を測定し，100からこの値を除いたものを老化度(%)とした。

このようにして作った老化飯の粉末を用いて1,100～2,500nmの近赤外吸収スペクトルを測定した。Fig.17はこの内北海道産米，老化度9.8%と老化度49.2%のものを示した。この近赤外吸収スペクトルは老化が進むと全近赤外域で反射吸光度の小さくなることを示していたが，老化によって示される特異的な吸収を示す波長は峻別できなかった。そこでこの近赤外吸収スペクトルを2次微分しその曲線から老化によって示される特異的な吸収を示す波長を検討した。その結果はFig.18に示すように1,116，1,292，1,608，1,636，1,652，1,792，2,016，2,336，2,376nmの波長が老化度を測定する場合に有効なものであることが明らかになった。

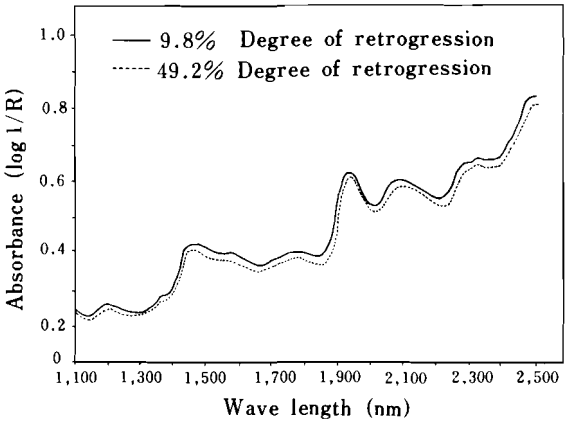


Fig. 17. Comparison of NIR spectra between two retrograded rice.

重回帰式は老化度の異なる試料の各波長の反射吸光度を用いてβ－アミラーゼ，プルラナーゼ，(BAP)法による老化度に最高の相関となるものを選択した。4・1式にこの重回帰式を示した。

$$\text{老化度}(\%) = -89{,}641 + 57{,}522\,\alpha_1 - 11{,}681\,\alpha_2 - 137{,}260\,\alpha_3 - 87{,}940\,\alpha_4 + 68{,}536\,\alpha_5 - 26{,}017\,\alpha_6 - 7{,}467.6\,\alpha_7 + 12{,}492\,\alpha_8 - 8{,}163.5\,\alpha_9 \quad \cdots\cdots 4\cdot1$$

α_1 ＝2,336nmの反射吸光度
α_2 ＝2,016nm 〃
α_3 ＝1,292nm 〃
α_4 ＝1,792nm 〃
α_5 ＝1,636nm 〃
α_6 ＝1,116nm 〃
α_7 ＝2,376nm 〃
α_8 ＝1,652nm 〃
α_9 ＝1,608nm 〃

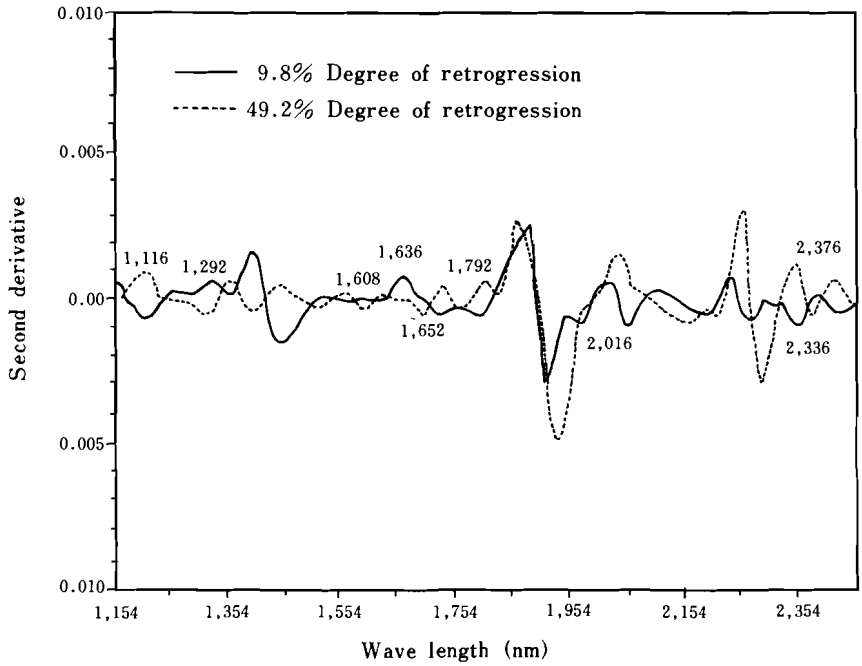


Fig. 18. Comparison of second derivative NIR spectra between two retrograded rice.

この式を用いて老化度の異なる未知試料の老化度を測定した。この試料はβ－アミラーゼ，プルラナーゼ(BAP)法で老化度を分析し，その両者関係をFig.19に示した。これによると近赤外分光機器での測定値とβ－アミラーゼ，プルラナーゼ(BAP)法の間には r＝0.962（n＝14，0.1%水準で有意）の有意な相関が認められた。しかしその標準誤差は2.88で，95%信頼度は老化度30%の試料で±1.0%であった。

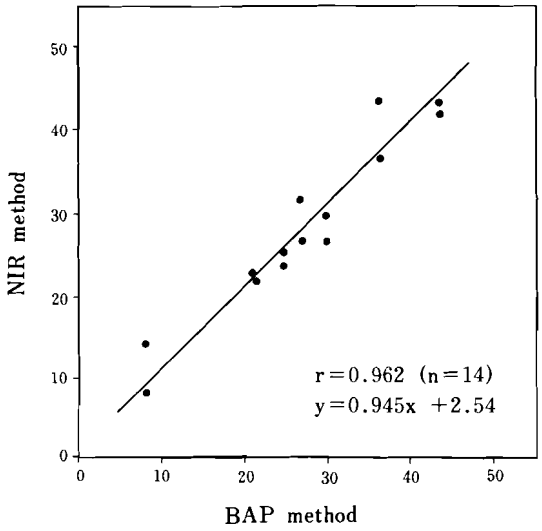


Fig. 19. Comparison between NIR method and chemical(BAP) method for determining the degree of retrogression in boiled rice.

第5節　古米化の分析方法

米の食味は古米化することによって著しく劣ることが知られている。古米化は玄米の生命力の低下や成分変化，米組織の硬化などによって表示される。玄米の生命力の変化は発芽力の低下[104]，パーオキシダーゼ，カタラーゼなどの酵素活性の低下[97]，があげられる。これらの方法は新米，古米を峻別するのに信頼できる手法である。新米であっても加熱乾燥したものは発芽力，酵素活性の低下が著しく，この方法を広く適用できなくなってきた。成分の変化では脂肪酸の増加，pHの低下，ビタミンB_1の減少[98]還元糖の増加などがあげられる。脂肪酸，ビタミンB_1，還元糖の分析は複雑であり長時間を要した。酸度測定はpHメーターで行うため簡易であり，かつ短時間で測定でき

るため本研究には有効であると考えられた。熊谷ら[52]は酒造原料白米の新古米の判定法をアルカリ添加後のpH変化を利用し，BTBとPRの混合指示液を用いる新・古米の判定法を確立した。この方法は新古米を判定するのにきわめて安定した方法であるが，新古米の程度を数量化するのには難点がある。この方法の改良を検討した。すなわち90

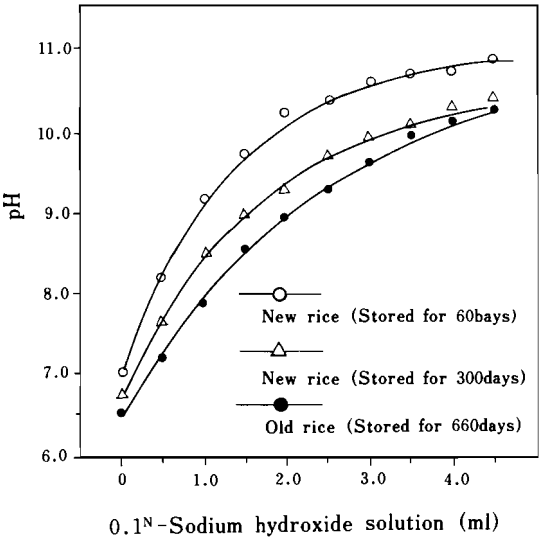


Fig. 20. The difference in pH between new and old rice when titrated with 0.1 NaOH.

%に搗精した白米20gに水40mℓを入れ，これに0.1N－NaOHを0.5mℓ加えて2分間撹拌しpHを測定し，測定後すみやかに0.1N－NaOHを0.5mℓ加えて2分間撹拌しpHを測定する方法で随時0.1N－NaOHを加えて新・古米のアルカリ滴定曲線を作成した。

Fig.20は「みちこがね」を温室で収穫後2ヶ月目と圃場で収穫後10ヶ月目の新米，収穫後22ヶ月目の古米を用いたアルカリ滴定曲線を示した。これによると水抽出pHの新・古米の差は0.5であったがこれにアルカリを添加することによりこの差が除々に大きくなり，0.1N－NaOH1.0～2.0mℓの添加でpH1.5の最大値差を示した。

この結果から新・古米の判定は水抽出によるpHよりも古米化によって起こる酸性化を白米のアルカリ消費量の差を利用する方がよいことが明らかになった。そこで白米のアルカリ消費量を数量的，かつ簡易に測定する方法を検討した。

まず，50mℓの蓋付ビンに白米15gと0.004N－NaOH溶液30mℓを入れ125回/分で20分振とうし，ただちにpHを測定した。ただし，この時の振とう時間および振とう回数は測定するpH値に大きく影響するので測定に当ってはできるだけ条件を一定とすることが必要あった。また，測定値の表示法は使用した0.004N－NaOH溶液のpH理論値11.57から測定した試料のpHを引いた値で示した。

第6節　アミログラム特性値

アミログラフは小麦粉の糊化性と酵素の活性を見るために作られた分析装置であり，粳米のアミログラム特性置は酵素の活性が小麦粉よりはるかに小さいため，この値はおもに澱粉の熱糊化性を示し，米の食味にきわめて重要なことが明らかとなっている[99]。アミログラフは温度を正確に定速上昇させる機構と糊化にともなう粘度変化を追跡するための回転粘度計からなっている。これによって加熱，冷却による糊の抵抗値が一定の撹拌速度で記録される。ただ，澱粉の場合はみかけの粘度であって粘性率そのものではない。なおこの特性値の単位はBrabender Unitで表わされ，以下B.Uと略し表示する。記録紙の全幅は1,000B.Uである。

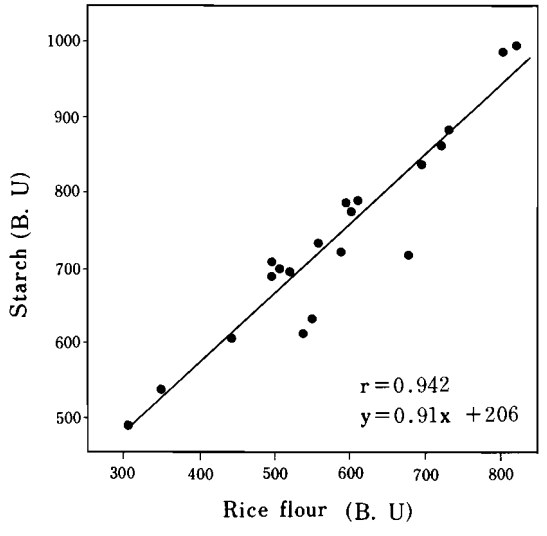


Fig. 21. Comparison of amylogram maximum viscosity between rice flour and starch.

Fig.21は米澱粉と米粉のアミログラム最高粘度値の相関を示した。この両者には r=0.942(n=20) の有意な相関が認められ，1次回帰式の勾配も0.91となり，両者ほぼ同程度の値を示した。この傾向はアミログラムのすべての特性値に認められた。したがって米粒中の澱粉の熱糊化性を知る目的の場合は澱粉を抽出しないで，米粉をそのまま使用しても十分に澱粉の熱糊化性を推定し得ることがわかった。なお，ここに示した実験は本州産米10点，北海道産米10点の試料から0.1%－NaOHで澱粉を抽出したものと，同一試料から米粉を作り，それぞれアミログラム特性値を測定した結果である。

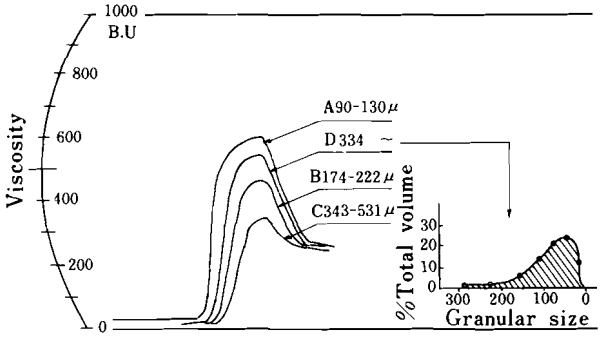


Fig. 22. Influence of the granular size of rice flour on amylograms.

米粉の粒度とアミログラム特性値の関係を検討するために，米粉をナイロン篩を用いて90～130μ，174～222μ，343～531μの3段階に分けて分析し，結果をFig.22に示した。

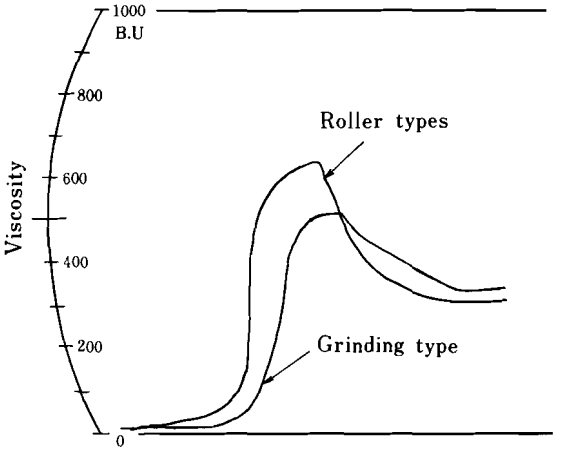


Fig. 23. Comparison of the amylograms of rice flour ground by two types of mills.

米粉の粒度は細かいほどアミログラム最高粘度が高くなり，ブレークダウンも大きくなることが認められた。粘度上昇開始温度，最高粘度到達温度も粒度が細かいほど低くなっていた。したがって分析に供する米粉の粒度は130μ以下の小粒が大部分であり，試料間に粒度の変異が少ないことが必要と考えられる。Fig.22のⒹは小麦製粉試験用のブラベンダーテストミルで粉砕し，50メッシュのナイロン篩を通過した粉のアミログラムとその時の米粉の粒度分布を示した。このアミログラムは90～130μ粉よりも最高粘度，ブレークダウンは低いがⒷ，Ⓒの粒子の粗なものよりはるかによかった。

アミログラム特性値は澱粉の熱糊化について測定しているため，粉砕時の熱発生の有無が大きく影響する。そこで粉砕機によって，どの程度発熱に差異があるか検討した。

材料には水分16.5%の白米をうすびき式とロール式の2種類の機構の異なる粉砕機で製粉した。その結果，うすびき式では25℃の試料が46℃まで上昇したのに対し，ロール式粉砕ではわずか27℃までにしか温度が上昇しなかった。

この2種類の試料でアミログラムを測定し，その結果をFig.23に示した。これからも明らかなように，加熱の大きかったうすびき粉砕機での米粉のアミログラム最高粘度値はロール式粉砕機での米粉より明らかに小さかった。したがって分析試料はロール式粉砕機のブラベンダーテストミルで粉砕し，50メッシュのナイロン篩を通過したものを用いることが良いと考えられた。

Fig.24はアミログラム特性値を示した。分析開始温度は30℃とし，1分間に1.5℃ずつ上昇させ，42分後に93℃に致達した。その温度で10分間放置後1分間に1.5℃ずつ冷却し，42分後に30℃となり分析を終了する。1点の分析には1時間32分必要であり，これに準備時間を入れると1点あたり2時間を要する。そこで多数試料を分析できるようにするため分析時間の短縮と分析法の改良を検討した。また，アミログラム特性値相互の関係を明らかにするため相関行列をTable 6に示した。糊化開始温度

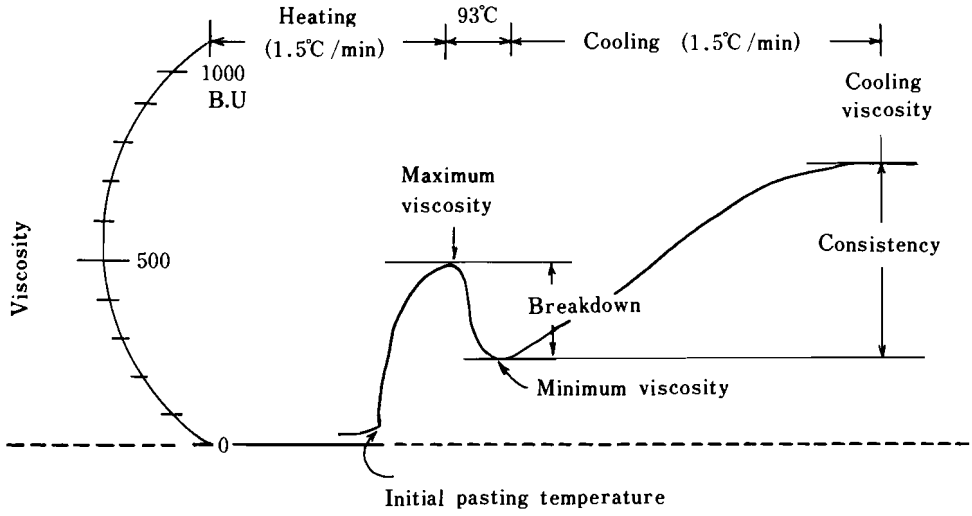


Fig. 24. Amylogram.

Table. 6. Correlation coefficient for Amylogram characteristics.

	Gelatinization temperature	Maximum viscosity	Minimum viscosity	Final viscosity	Breakdown (B)	Consistency (C)	B/C
Maximum viscosity	* 0.287						
Minimum viscosity	−0.014	** 0.420					
Final viscosity	** −0.510	** −0.421	** 0.421				
Breakdown (B)	* 0.317	** 0.886	−0.090	** −0.467			
Consistency (C)	** −0.548	* −0.321	0.259	** 0.983	** 0.493		
B/C	** 0.505	** 0.638	−0.148	** −0.817	** 0.782	** −0.849	
C/B	** −0.481	** −0.625	0.167	** 0.797	** −0.777	** 0.828	** −0.797

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively

は最終粘度，コンシステンシーと負の有意な相関が認められた。またコンシステンシーは最高粘度，ブレークダウンと有意な相関が認められた。
したがって本研究ではアミログラムを最終粘度値まで測定せずに最低粘度値までとし，測定時間を約半分の52分に短縮することが可能となった。

一方機器操作の自動化を計るため，分析機をFig. 25に示すように改良した。すなわち4台のブラベンダーアミログラフをIC制御装置で従来の水銀温度計による半自動制御から熱伝対を用いたIC回路によって制御する方式に変え，さらに稼動操作も自動化した。これによって従来1人で2台しか稼動できなかったものを，この方式では4台同時操作できるように改良した。この方法で温度が自動制御されたため人為的なエラーが全くなく正確なアミログラムが得られるようになった。分析機の配置略図をFig.25に示した。また4台のアミログラムにみられる機種差を消去するためにアミログラムに差のある試料を測定し，A号機に合わせるための回帰式を作り，これで測定されるすべての

試料の機種差を消去した。

供試試量は最高粘度値が600～700B.Uとなるようにするのが一般的であるが，本研究では北海道産米を改良する目的から400～500B.Uとなり，本州産米で600～700B.Uとなるようにした。すなわち米粉40gを水450mℓに懸濁すると良いことがわかった。

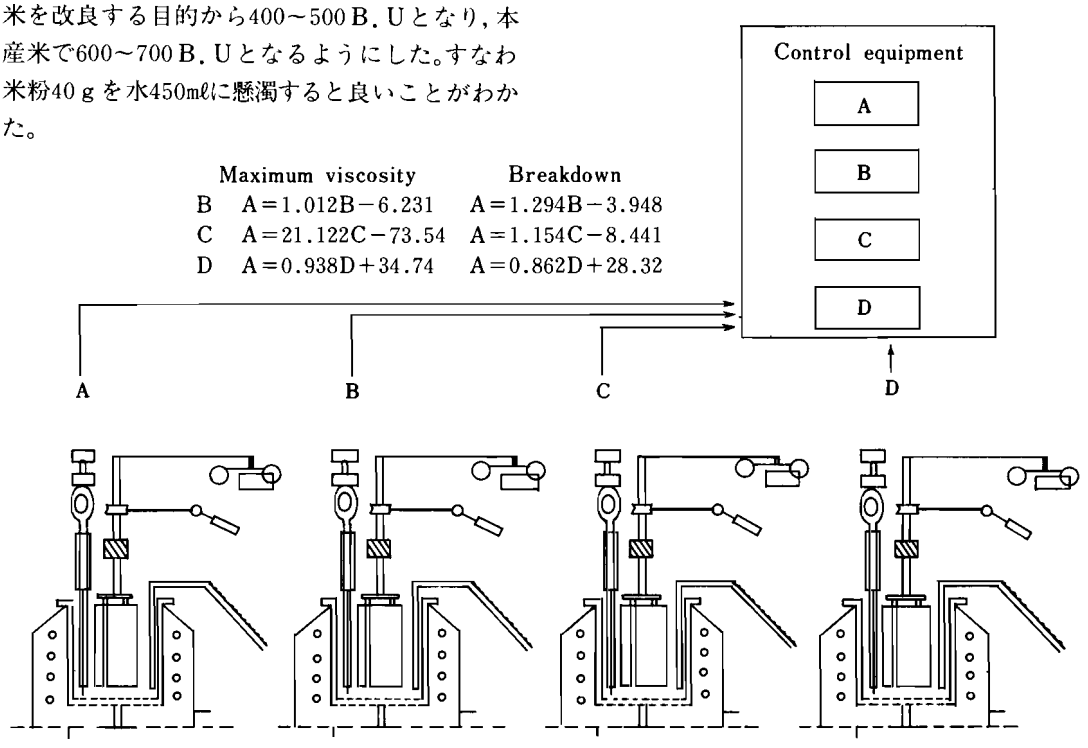


Fig. 25. Automation system for amylograph procedures.

第7節　要　　約

北海道産米の食味向上には良食味品種の育成とその栽培技術の確立が重要であり，これに必要な分析法は迅速，正確，省力であり，なおかつ分析試料が微量なことが必要であった。さらに分析項目は本研究が目指すところの熱糊化し易く老化し難い性質を北海道産米に付与するという目的に合致することが必要であった。本章はこのような用件を勘案して分析項目をアミロース，澱粉，蛋白，脂肪，灰分，テクスチャー，老化性，古米化，アミログラム特性値に選定し，それぞれの分析方法について検討した。

アミロース含有率の分析法は自動分析装置を利用し，100mgの米粉試料を用いて1点3分間で分析する方法を確立した。澱粉含有率，蛋白含有率，脂肪含有率，灰分含有率，老化性の分析法は近赤外分析装置を用いる方法を検討し5gの米粉試料で短時間に定量できる方法を確立した。ご飯の硬さ，粘りはテクスチュロメーターを用いて測定する方法を確立した。古米化の判定法は白米に薄いアルカリ溶液を添加し消費したアルカリ量をpHの変化から判断できる方法を確立した。熱糊化性はアミログラフを用いて短時間に分析する方法を検討した。

これらの食味特性の分析方法は良食味品種の育成とその栽培技術の確立に取って有効なものと判断された。

第II章　北海道産米の食味に関係する理化学的性質

前章では北海道産米の食味解析とその向上に有効な分析法の確立を検討した。ここでは食味特性を向上させるための方法とその具体的な手法を明らかにする目的で，北海道産米の食味に関係する理化学的性質を検討した。特に熱糊化性，老化性に関する澱粉の性質，さらに飯のテクスチャー，蛋白含有率などは食味を支配する要素と考えられ[105]，北海道産米のこれらの性質がどこに位置し，変異巾がどの程度であるかを知ることは重要である。

北海道産米の理化学的性質を本州産米と比較しながら検討した最近の研究はなく，食味特性値の位置的関係やその向上のための手法は不明である。このため北海道では産米の食味向上に関する技術開発の指標をどのような特性値に置いて進めるべきかが大きな問題となった。ここでは現在までに明らかとなっている北海道産米の理化学的性質を本州産米と比較しながらその特徴を明らかにし，もって食味向上のための方途と具体的な手法を導出しようとした。

第1節　澱粉の性質

澱粉中のアミロースは量的にアミロペクチンよりはるかに少ないにもかかわらず熱糊化性，老化性に対し支配的に働くことが明らかにされている[9,10]。したがってアミロース含有率は食味を示す指標としてよく用いられる。倉沢[55]は新潟産米の分析結果から米のアミロース含有率が飯の粘りと関係することを見いだし，おいしい粘る米はアミロース含有率が17.5～18.0%であるとしている。一方，米澱粉中のアミロース含有率は滝[95]が澱粉のクロマトグラフィーに関する研究のなかで16.0～20.0%と報告している。これらの結果は本州産米のアミロース含有率が20%以下に多く分布し，最高値と最低値の差はおよそ4%であり，この差は食味の良否に強く関係するとみられる。これらの結果はかぎられた地方で生産された数少ない試料を分析して得られたものであり，もちろん北海道産米は含まれておらず，日本で生産される米のアミロース含有率の分布とその中の北海道産米の位置関係，変異巾などを知ることは北海道産米の食味向上に取ってきわめて重要となる。そこで北海道産米と本州産米のアミロース含有率を知るために分析法を異にする2回の調査を行った。

はじめの調査は[26]1969～1971年の3ヶ年にわたり本州7県，10品種，北海道内7市町村，7品種を用いた。この調査に供した試料は，北海道産米37点，本州産米19点である。分析方法は澱粉およびアミロースのヨウ素親和力からアミロース含有率を算出する手法を用いた。この時のアミロースのヨウ素親和力は19と仮定し，その値に対する百分率とした。2回目の調査は1980，1983年の2ヶ年にわたり本州36県，44品種，北海道内5市町，15品種を用いた。この調査に供した試料は北海道産米56点，本州産米178点である。本州産米は各県の作付面積の上位3～4品種とし各県立農業試験場で慣行栽培されたものである。分析方法は第I章に示したオートアナライザーによる自動分析法で行った。分析結果の平均値とその変異はTable 7とFig.26に，1980，1983年の地域別アミロース含有率をFig.27に示した。

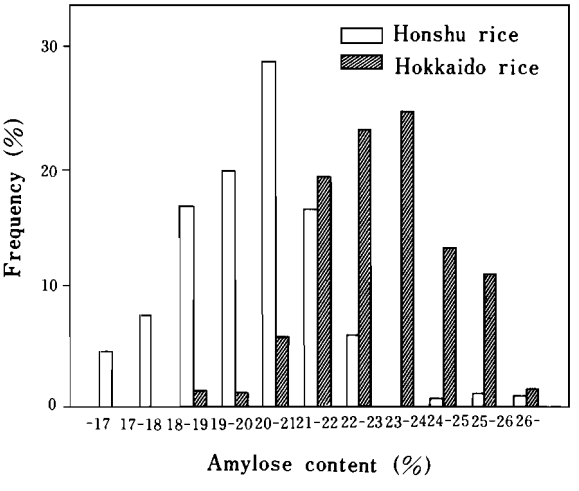


Fig. 26. Frequency distribution of amylose content in Hokkaido and Honshu rice.

これらの結果から，北海道産米のアミロース含有率は本州産米より高いところでほぼ正規分布を示す。アミロース含有率が20.0%以下の頻度は北

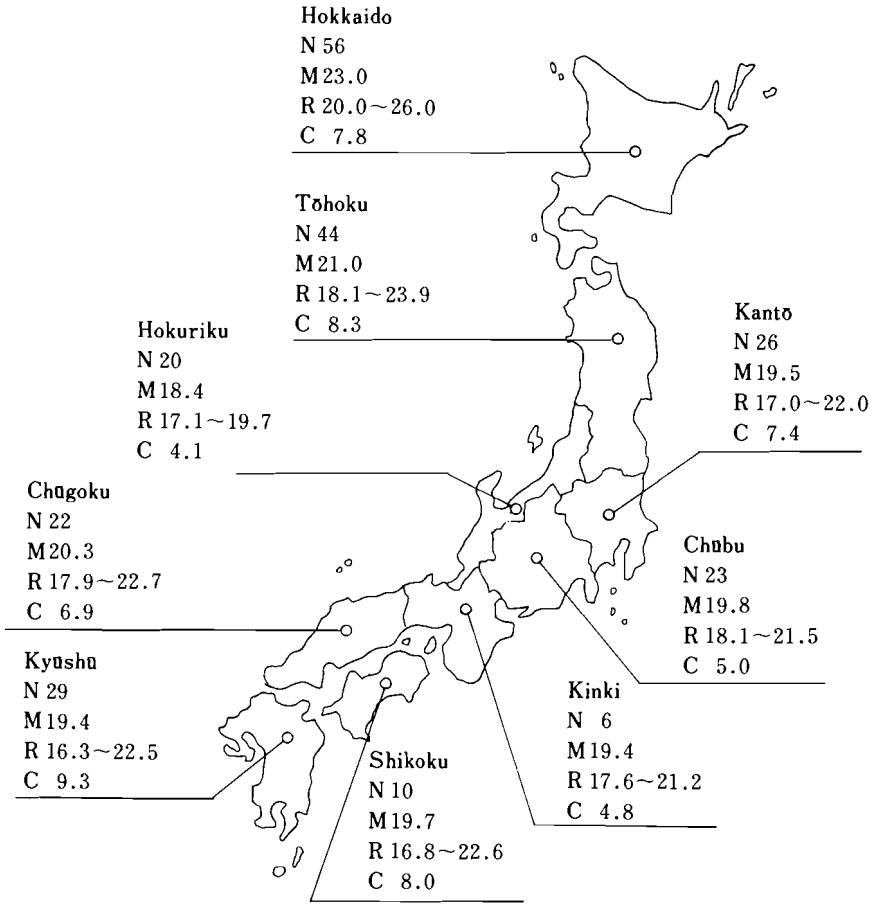


Fig. 27. Amylose content of rice from different areas in Japan.

N : Number of samples, M : Mean value of amylose content,
R : 90% confidence interval, C : Coefficient of variation

Table. 7. Amylose content in rice.

Years Area	Sample	Mean amylose content	Standard deviation	90% Confidence interval	Coefficient of variation (%)
1969~1971					
Honshu	19	19.5	1.19	17.6~21.5	6.1
Hokkaido	37	22.8	1.05	21.1~24.5	4.6
1980~1983					
Honshu	178	19.9	1.68	17.1~22.7	8.4
Hokkaido	56	23.0	1.80	20.0~26.0	7.8
Total					
Honshu	197	19.9	1.64	17.2~22.6	8.2
Hokkaido	93	22.9	1.54	20.3~25.5	6.7

海道産米ではわずか2.2%に対し本州産米は48.3%にも達した。したがって，倉沢[55]の指摘する粘るおいしい米のアミロース含有率といわれる，17.5～18.0%に該当する北海道産米は1.1%にすぎなかった。北海道産米は24.0%以上の高アミロースの頻度が23.8%と多かった。これは1983年の冷害年に生産されたものがほとんどで，これを除くと5.4%と少ない値となった。

北海道産米93点の平均値は22.9%，本州産米197点の平均値は19.9%でその差は3.0%にもなり，明らかに北海道産米のアミロース含有率は高かった。変異係数は逆に北海道産米の方がやや小さく，高アミロースで安定しているとみられる。本州産米の変異係数を大きくしている原因は青森県，岩手県産米の高アミロースによるところが大きくいずれにせよアミロース含有率の変異はあまり大きなものでなく，含有率の絶対値における北海道産米の差はそう大きくないといえる。このようなアミロース含有率，変異係数は2度の調査結果とも類似しており，この結果がかなり標準化したものであることがうかがえる。

これまで北海道産米，本州産米のような大きな分類による比較でなく，本州産米をFig.27に示すように8ブロックとし，その中で北海道産米アミロース含有率の位置的関係をみた。本州8ブロックの中で最もアミロース含有率の低いのは北陸の18.4%であり，20.0%以上のところは東北，中国であった。北海道産米の23.0%のアミロース含有率は東北の21.0%より2%も高く，この差は本州8ブロックの最高と最低の差よりも大きかった。90%信頼区間の最高値が20%を切ったのは北陸のみで他はほとんどが21～23%であり，ほとんどの地域で北海道産米よりも低いアミロース含有率の米が生産されていることがうかがわれた。

したがって，北海道産米のアミロース含有率を低下させることが肝要で，そのための手法の確立が必要であると考えられた。

Table 8はAnthrone法で求めた全糖量とPark－Johnson法で求めた還元末端基量からアミロース，アミロペクチンのブドウ糖平均重合度を計算した。この分析法による値は一般的な値より低くなるが，一応比較の目的で用いた。DMSOで溶解したアミロースの極限粘度も求めた。アミロースの平均重合度は本州産米より北海道産米が低いことが認められた。アミロースの極限粘度値も北海道産米が低く，これに類似していた。したがって本道産米のアミロースは本州産米よりブドウ糖基が50～100基ほど短かいとみられる。アミロペクチンの重合度は北海道産米の平均値2910，本州産米の平均値2873とこの差はわずかなものであり，有

Table. 8. Degree of polymerization ($\overline{DP}$) and limiting viscosity.

Area (Variety)	DP		Limiting viscosity (g/dl.25℃ DMSO)	Average length of unit chain
	Amylose	Amylo-pectin		
Honshu				
Koshihikari	560	2950	1.18	18.2
Sasanishiki	500	2940	1.25	19.0
Kinmaze	460	2520	1.06	19.2
Nōrin22	570	3080	1.32	19.5
Mean	523	2873	1.20	19.0
Hokkaido				
Hōryū	490	3220	1.11	18.9
Shiokari	470	3130	1.12	17.7
Yūkara	450	2760	1.08	18.8
Nōrin.22	433	2530	1.01	18.9
Mean	461	2910	1.08	18.6

意な差は認められなかった。アミロペクチンの末端基のブドウ糖重合度は本州産米の平均値19.0に対し北海道産米の平均値は18.6と有意な差は認められなかった。このようなことからアミロペクチンにはあまり大きな差がないものと思われる。

つぎに北海道産米中の澱粉の結晶化度について検討した。種々の植物の澱粉は部分的に微少な結晶状の構造の発達したものであり，このX線回折図はA形，B形を両端としその中間のC形を含めて3種類に分類[8]できる。

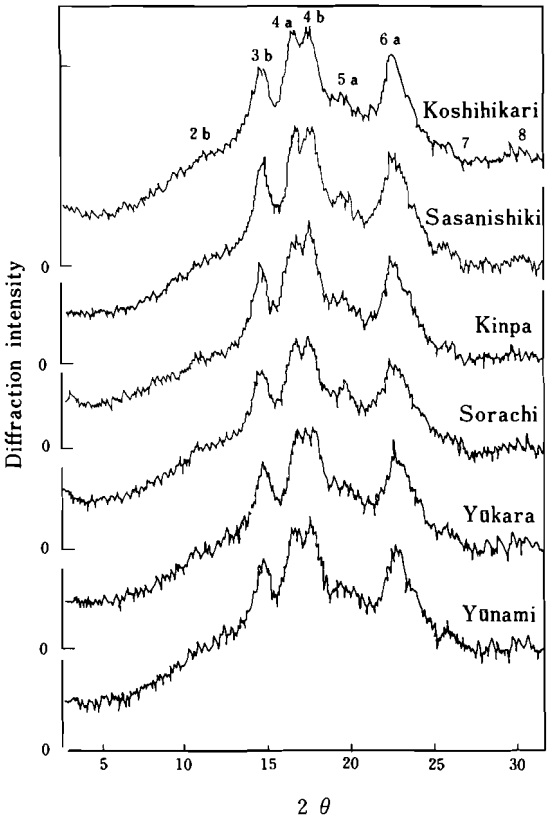


Fig. 28. X-ray diffractograms of rice starch.

これによると穀類澱粉はA形，根茎や球根類の澱粉はB型，根やマメ類の澱粉はC型に属する。米澱粉は粳，糯ともにA型に属するといわれる。なお，分析の条件は次の通りである。X線ディフラクトメーター；理学電機製Model D－3F，X線；Cukα，Niフィルター使用，X線発生条件；30KV，12.5 mA，スリット系；発散スリット，散乱防止スリット；1A°，受光スリット；0.2 mm，レートメータ；8，マルチプライヤー；0.8，時定数2秒，ゴニオメータ走査度；1°/min，チャート送り速度；10mm/min，北海道産米澱粉3点，本州産米澱粉3点を粉末法で行った。X線回折結果をFig.28に示した。

X線回折図の4a，3bの回折線にA型の特徴が認められた。しかし両澱粉の差はほとんど認められず，澱粉の球晶の大きさやその強度に著しい相違がないことが明らかになった。

これまでは北海道産米澱粉と本州産米澱粉の分子とその構造について検討してきた。次に食味に最も関係があるとされている澱粉の熱糊化性の相違について以下検討した。澱粉の熱糊化性はいくつかの分析法による値を用いてその全容を知るのが一般的であるがここでは北海道産米と本州産米澱粉の熱糊化性は膨潤度，溶解度，フォトペーストグラム，アミログラム特性値によって示すこととした。

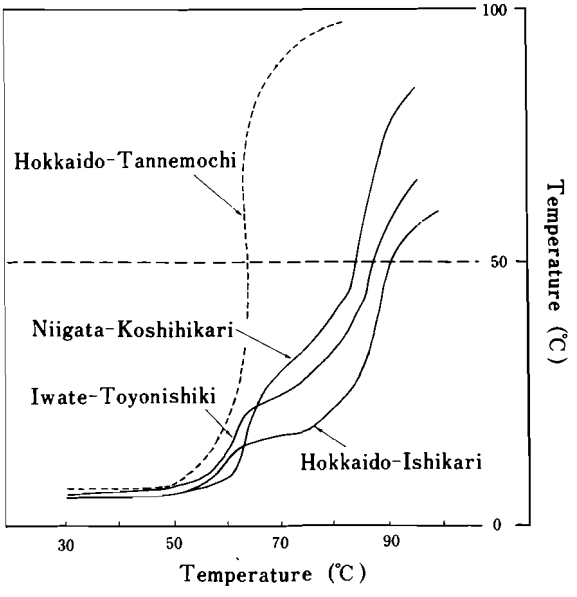


Fig. 29. Photopastegams of several kinds of rice.

材料には1980年新潟県産「コシヒカリ」岩手県産「トヨニシキ」北海道産「イシカリ」「たんねもち」を用いた。その結果をFig.29に示した。これから粳米フォトペーストグラムはいずれも60～70

Table. 9. Swelling power and solubility.

Area	Honshu		Hokkaido	
	Swelling power	Solubility	Swelling power	Solubility
Mean	15.8	8.9	14.2	11.0
Standard deviation	1.29	2.23	1.07	2.73
90% confidence interval	13.5~18.1	5.0~12.8	12.3~16.1	6.2~15.8
Coefficient of variation (%)	8.2	25.1	7.5	24.8

500mg Starch/25ml water,30min,3000rpm-15min.

℃，80～95℃の両温度域で糊化が顕著に進むことが認められた。これは粳米澱粉が低温，高温の2段階の膨潤によって糊化することを示すものであるが糯米澱粉にはこれが認められず，60～70℃の1段目でアミロペクチン，80～95℃の2段目でアミロースが糊化するものと推定された。つぎに道産米と本州産米のフォトペーストグラムを比較すると，糊化開始温度は北海道産「イシカリ」，岩手県産「トヨニシキ」に比較して新潟県産「コシヒカリ」がわずかに高い値を示した。また2段目の糊化は北海道産「イシカリ」が新潟県産「コシヒカリ」よりわずかに高温側から開始された。

Table 9 はフォトペーストグラムでみられた熱糊化性の差を定量的に知るために膨潤度，溶解度を分析したものである。膨潤度，溶解度は貝沼[73]らの方法で分析した。澱粉1gを共栓遠沈管にとり純水50mℓを加え撹拌しながら95℃で1時間加熱し4,500rpmで30分遠心分離し膨潤度，溶解度を測定した。試料は北海道産米澱粉15点，本州産米澱粉15点を供した。

北海道産米澱粉の膨潤度は14.2であり本州産米澱粉の15.8より小さかった。溶解度は北海道産米澱粉が逆に大きく，本州産米澱粉粉より膨潤し難く溶解し易い性質であるといえる。この差は90%信頼区間からみて有意なものでなく両集団の大部分が重り合っているものとみられる。

Fig.30は新潟県産「コシヒカリ」と北海道産「イシカリ」のアルカリ抽出による米澱粉のアミログラムを示した。Table 10 は1969～1971年の3ヶ年にわたっておこなった74点の調査試料からアルカリで澱粉を抽出し，これのアミログラム特性値を示した。Table 11は1980，1983年に調査した試料の米粉を第I章に示した分析法でアミログラム最高粘度値を測定し，これを地域別に示した。

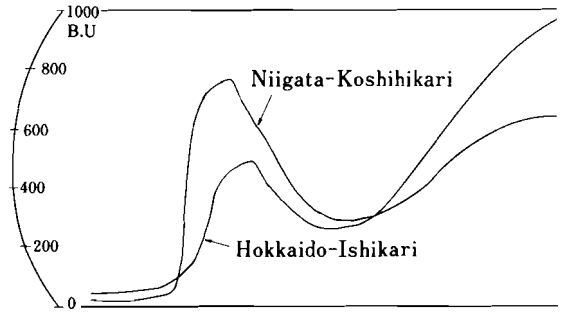


Fig. 30. Comparison of amylogam between Ishikari(Hokkaido) and Koshihikari) (Niigata) rice.

この結果からアミログラムに示される糊化温度は北海道産米澱粉が本州産米澱粉よりわずかに低かった。この傾向はフォトペーストグラムでも認められ，北海道産米澱粉の糊化は本州産米より低温で開始されることがわかった。北海道産米澱粉の最高粘度は490～898B.Uに分布し，その平均値は684B.Uに対し本州産米澱粉の平均値824B.Uより140B.U低かった。この傾向はTable 11に示した米粉でも認められ，北海道産米のアミログラム最高粘度は明らかに低い値を示した。

最終粘度はゲル化による糊液の硬さを示すが北海道産米澱粉の最終粘度は900～1,520B.Uに分布しており，平均値1,239，本州産米の811B.Uより

Table. 10. Amylogram characteristics of Honshu and Hokkaido rice.

Area	Gelatinization temperature	Maximum viscosity	Minimum viscosity	Final viscosity	Break down (B)	Consistency (C)	B/C
Hokkaido							
Mean	64.1	694	294	1239	390	967	0.4
C. V.	3.0	18	18	19	31	25	31
Honshu							
Mean	64.9	824	280	811	544	626	0.9
C. V.	1.9	15	27	37	17	17	25

Table. 11. Maximum viscosity of rice flour from different areas in Japan.

Area	Samples	Mean maximum viscosity	Standard deviation	90% confidence interval	C. V.
Hokkaido	58	397	91	245～549	23
Tōhoku	42	502	61	399～605	12
Hokuriku	20	640	48	557～723	8
Kantō	26	590	65	480～700	11
Chūbu	23	547	91	391～703	17
Kinki	6	641	58	527～753	9
Chūgoku	22	554	63	446～662	22
Shikoku	10	595	112	504～686	19
Kyūshū	29	597	119	392～799	20
Honshu	178	569	92	418～720	16
Total	234	527	117	335～709	22

も428B. Uも高い。したがって北海道産米澱粉の糊液は本州産米よりもはるかに硬くこの性質が飯を硬くしているものと推定された。

アミログラム特性値の地域差を検討するために，米粉のアミログラム最高粘度はTable 11に示すように本州8ブロックのどの地方よりも北海道産米が低く，本州産米の平均値569B. Uより172B. U低かった。本州産米の最高粘度値は高い方から近畿，北陸＞九州，四国，関東＞中国，中部＞東北の順となっており，北海道は最も低い東北と104B. U，最も高い近畿と244B. Uの差が認められた。変異係数は北海道が最も大きく，次いで中国，四国，九州となっており，最も低かったのは北陸の8％であった。以上のことから北海道産米澱粉はアミロペクチンより，アミロースの含有率やブドウ糖重合度などの性質が本州産米と異なり，これが澱粉の膨潤，溶解などの熱糊化性に影響し，ゾル化し難く，ゲル化し易い特徴を持つ。これを改善するためにはアミロース含有率，アミログラム最高粘度などを指標にして，ゾル化し易すい澱粉となるような品種，栽培技術の確立が必要と考えられた。

第2節　蛋白含有率とその性質

米の蛋白含有率と食味には負の関係にあるとする報告[35,63,121]が多い。これらは施肥，土壌型の相違によって米粒中の蛋白含有率が増減し，これによって食味も変動すると云うものである。北海道の水稲は全国的にみると極早生種に属する。米粒中の蛋白含有率は晩生種よりは早生種で高い[3]とされ，さらに北海道の水田土壌はちっ素地力の旺盛な泥炭土が20.8%，グライ土が23.7%も存在し，米粒中の蛋白含有率を高める要因がきわめて多い。

平ら[90]は1970年に北海道産米を分析し，本州産米より高蛋白であることを報告している。しかしこの報告は玄米試料の分析によるもので，実際に食事をするときの白米による比較ではない。そこで白米による北海道産米と本州産米の蛋白含有率

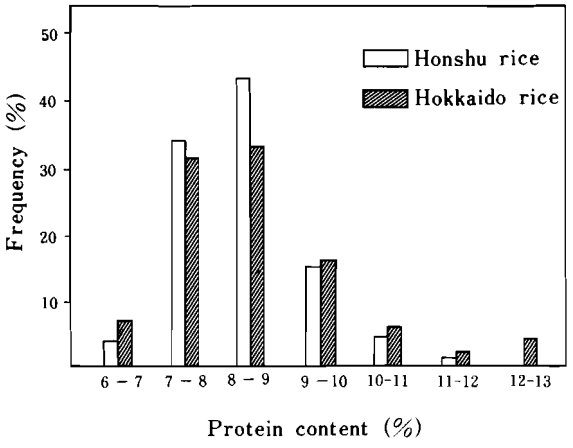
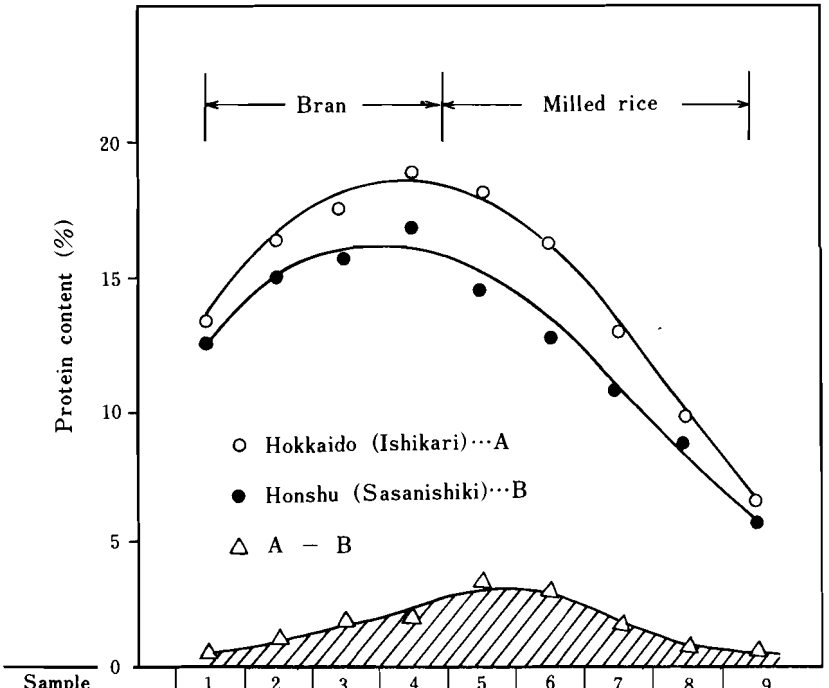


Fig. 31. Frequency distribution of protein content in Hokkaido and Honshu rice.



Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Milling percentage	0 ~ 2.4	2.4~ 5.6	5.6~ 8.2	8.2~ 11.4	11.4~ 15.0	15.0~ 17.7	17.7~ 26.4	26.4~ 35.5	35.5~ 100 %
Ishikari	0 ~ 2.9	2.9~ 5.1	5.1~ 7.7	7.7~ 11.4	11.4~ 15.3	15.3~ 19.6	19.6~ 24.5	24.5~ 35.2	35.2~ 100 %
Sasanishiki									

Fig. 32. Distribution of protein in rice grains.

を比較し，その位置的関係を明らかにすることとした。分析用試料は1980，1983年産米とし，これを精白，粉砕し，インフラライザーによって蛋白含有率を測定した。

Fig.31は北海道産米と本州産米の蛋白含有率の頻度分布を示した。これから，北海道産米の蛋白含有率は本州米のような7～9％の分布がやや少なく，その分だけ9％以上の高蛋白米の出現が多い。しかし，北海道産米と本州産米蛋白含有率は実質的に大差なく，平ら[90]が分析した玄米の蛋白含有率の差よりはるかに小さいものであった。

つぎに，米粒中における蛋白の存在位置を明らかにするため，米粒の表面から内部にかけてその含有率の変化を検討し，その結果をFig.32に示した。供試試料には北海道産米「イシカリ」本州産米「ササニシキ」を用いた。これによると双方の蛋白含有率の差は果皮，種皮，胚乳の粒心部分で少なく糊粉層，胚乳の外側部で大きくなることが明らかになった。特に糊粉層部分に相当する試料No.3，4は2％の差がつき，さらに胚乳の外側部分に相当する試料No.5，6の差はこれより大きい3％であった。したがって北海道産米と本州産米の蛋白含有率の差は白米で小さく玄米で大きくなるものと考えられる。

つぎに，本州産米も含む地域的な差を検討し，その結果をTable 12に示した。本州8地域中で最も蛋白含有率の低いのは東北の7.9％，次いで北陸，中国の8.1％であった。北海道産米の8.4％は関東，近幾，四国に近く，この値は本州産米の中部，九州より低い値となった。変異係数は北海道産米が最も大きく，本州産米で小さい地方の近幾，関東，北陸の2倍以上であった。したがって北海道産米の蛋白含有率は低いものから高いものまで分布巾が広く，これによる食味特性の変異も大きいことが明らかになった。

北海道産米蛋白のアミノ酸組成を知るために，高速液体クロマトグラフィーでアミノ酸を分析した。分析方法は白米粉50mgと6N-HCl 110mℓを分解ビンに取り，ドライアイス・エタノールで凍結しながら真空ポンプで脱気し，110±1℃で22時間分解した。分離カラムは強酸性陽イオン交換樹脂カラムを用いクエン酸緩衝液によるグラディエント溶出し，OPAとの反応による蛍光強度によって測定した。その結果をTable 13 に示した。

北海道産米は17種のアミノ酸いずれも本州産米との差がほとんど認められなかった。

第3節　無機成分

米粒中の無機成分についての研究はカドミウム，銅，ヒ素などの土壌汚染に関連して行われたもの

Table. 12. Protein content of rice from different areas in Japan.

Area	Sample	Mean protein content	Standard deviation	90% confidence interval	C. V.
Hokkaido	56	8.4	1.26	6.3～10.5	15.0
Tōhoku	42	7.9	1.14	6.0～9.8	14.4
Hokuriku	20	8.1	0.56	7.1～9.1	6.9
Kantō	26	8.3	0.56	7.3～9.3	6.7
Chūbu	23	8.7	0.91	7.1～10.3	10.5
Kinki	6	8.4	0.53	7.4～9.4	6.3
Chūgoku	22	8.1	0.72	6.9～9.3	8.9
Shikoku	10	8.5	0.96	6.8～10.2	11.3
Kyūshū	29	8.8	0.65	7.7～9.9	7.4
Honshu	178	8.3	0.89	6.8～9.8	10.7
Total	234	8.3	0.99	6.7～9.9	11.9

Table. 13. Comparison of amino acid composition in 4 rice varieties.

Amino Acid	Sasanishiki	Nihonbare	Ishikari	Yukihikari
Aspartic acid	9.4	9.5	9.5	9.3
Threonine	3.4	3.5	3.4	3.3
Serine	5.5	5.4	5.4	5.3
Glutamic acid	20.5	20.2	20.4	19.8
Proline	6.1	6.1	6.3	7.0
Glycine	4.8	4.9	4.9	4.9
Alanine	6.8	6.8	7.0	6.9
Cystine	1.2	1.3	1.2	1.2
Valine	5.2	5.3	5.1	5.2
Methionine	2.1	2.1	2.1	2.1
Isoleucine	3.7	3.7	3.6	3.7
Lencine	8.3	8.2	8.4	8.4
Tyrosine	4.8	4.6	4.9	4.8
Phenylalanine	4.9	4.9	5.0	5.0
Histidine	2.3	2.3	2.2	2.2
Lysine	3.8	3.9	3.7	3.8
Arginine	7.2	7.4	7.0	6.9

[4]，酒造適正米を得る目的でカリウム，鉄，マンガンなどを解析したもの[1,92]，さらに日本産米の無機成分を調査[48~50]したものなどがあげられる。しかし食味と米粒中に存在する無機成分の関係について解析したものはすくない。馬鈴薯澱粉の熱糊化性はリン含有率と関係があり，高リン澱粉ほどアミログラム最高粘度が高まることが知られている[117]。さらに高橋ら[91]は，金属イオンの影響を検討し，糊化時の膨潤に対する阻害イオンは$Ca^{++} > Mg^{++} > Hg^{++} > Fe^{++}$ の順であることを示した。リンは米粒中の無機成分中で含有率が最も高く，さらにカルシウム，マグネシウム，鉄などは生産地による変異も大きい[48~50]ことも知られている。これら無機成分と澱粉の熱糊化性の関係を明らかにすることは食味特性を向上させる上で重要となる。

これまで報告された米粒中の無機成分の研究には玄米または75%精白米が用いられたものがほとんどであって，90%前後に搗精した食用に用いられている精白米の結果はほとんどない。そこで食味と無機成分の関係を明らかにするために北海道産米と本州産米を89～91%搗精精白米にして分析に供した。供試試料は1980，1983年の2ヶ年にわたり本州36県，44品種，合計203点，北海道5市町村，15品種，合計81点を用いた。無機成分の分析は硫酸，過酸化水素法[65]による加水分解液を用い，リンはモリブデン青吸光光度法，カリ，ナトリウム，マグネシウムは炎光光度法，マンガン，鉄，亜鉛は空気，アセチレンフレームによる原子吸光法，カルシウムは二酸化窒素，アセチレンフレームによる原子吸光光度法で定量した。

Table 14は1983年，北海道岩見沢市産「イシカリ」と宮城県古川市産「ササニシキ」の米粒の層位別無機成分の分布を比較して示した。なお搗精率100～95%（No.1，2）は果皮，種皮の部分であり，95～89%(No.3，4）は糊粉層と胚芽であり，89～83%(No.5，6）は胚乳でも糊粉層に近い小細胞部分である。無機成分は粒心部に近づくにつれどの成分も顕著に低下することがこれからわかった。低下割合の大きい無機成分はマグネシウム，カリ，マンガン，リン，鉄，亜鉛，カルシウムの順となり，マグネシウム，カリの低下率が特に大

Tadle. 14. Distribution of inorganic component in Hokkaido and Honshu rice.

Area (Variety)	Sample number	Milling percentage	Inorganic component (ppm)						
			P	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn
Hokkaido	1	100~97.6	10400	17250	4880	156	193	108	53
(Ishikari)	2	97.6~94.4	10040	16930	4870	138	138	78	58
	3	94.4~91.8	8170	15450	4820	121	103	62	52
	4	91.8~88.6	7830	11700	4560	104	70	46	49
	5	88.6~85.0	6570	6270	3600	88	40	44	40
	6	85.0~82.3	3710	3000	1190	86	21	26	32
	7	82.3~73.6	2510	1610	270	90	14	22	26
	8	73.6~64.5	1320	890	20	78	09	18	23
	9	64.5~ 0	860	580	10	68	08	13	18
Honshu	1	100~97.1	9610	17340	5070	166	230	97	61
(Sasanishiki)	2	97.1~94.8	8750	16710	5090	140	165	67	65
	3	94.8~92.3	8460	15640	4950	122	133	53	60
	4	92.3~88.6	8010	12200	4810	112	120	46	58
	5	88.6~84.7	6840	6410	4040	94	76	39	45
	6	84.7~80.4	4870	3150	2250	86	44	26	41
	7	80.4~75.5	2810	1290	310	88	23	25	32
	8	75.5~64.8	1450	760	40	80	17	19	28
	9	64.8~ 0	980	330	10	62	11	13	22

Tadle. 15. Correlation coefficient for inorganic components and physicochemical properties.

Inorganic component							Protein content	Amylose content	Amylogram M. V.		
Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn					
−0.189	** 0.446	0.056	** 0.647	** 0.387	** 0.297	** 0.454	0.016	** −0.381	0.306	P	Inorganic component
	−0.216	* 0.321	−0.109	−0.146	−0.078	−0.174	−0.022	0.105	−0.102	Na	
		−0.030	** 0.505	** 0.530	−0.023	** 0.535	−0.014	−0.005	−0.070	K	
			0.108	0.028	−0.009	−0.023	0.028	0.055	−0.098	Ca	
				** 0.457	** 0.313	** 0.659	0.002	** −0.458	** 0.329	Mg	
					0.161	** 0.599	0.040	−0.202	0.200	Fe	
						0.167	0.022	−0.214	0.212	Mn	
							0.029	** −0.411	* 0.290	Zn	
								** −0.307	−0.047	Protein content	
									** −0.789	Amylose content	

Sample 284

*, ** : Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

Table. 16. Inorganic components of each in rice from Hokkaido and Honshu.

Area	Inorganic element	Mean(mg%)	Standard deviation	C. V.	90% confidence interval
Hokkaido	P	99	18	18.2	69～129
(n=81)	K	101	21	20.8	66～136
	Na	15.6	6.6	42.3	46～266
	Ca	7.4	1.2	16.2	5.4～9.3
	Mg	18.1	4.8	26.5	10.1～26.1
	Fe	1.1	0.45	40.9	0.3～1.8
	Mn	0.9	0.22	24.4	0.6～1.3
	Zn	2.1	0.63	30.0	1.1～3.2
Honshu	P	113	14	12.4	90～136
(n=203)	K	92	17	18.5	65～119
	Na	14.6	8.1	55.5	13～279
	Ca	7.2	1.2	16.7	5.4～9.1
	Mg	20.3	3.1	15.3	15.2～25.4
	Fe	1.2	0.44	36.7	0.5～1.9
	Mn	1.1	0.22	20.0	0.7～1.4
	Zn	2.3	0.15	19.6	1.6～3.0

きい点は片倉ら[42]の結果と一致した。

リン含有率は搗精率100～95%の果皮,種皮の部分で北海道産米が高かったが，粒心部になるにしたがって逆に本州産米が高くなった。カリは搗精率100～83%の部分で両試料に差が認められないが，粒心に近づくにしたがって北海道産米が高含有率となった。マグネシウム，マンガン，亜鉛はほとんどの部分で本州産米が北海道産米より高含有率となった。カルシウム，鉄は両生産地の間に差は認められなかった。このように米粒の層位別の無機成分，特にリン，カリ含有率は北海道産米と本州産米で異なることが認められた。

Table 15は無機成分相互，これと食味特性の関係を明らかにするため相関行列表を示した。これによるとリンはナトリウム以外の無機成分と正の相関があり，特に亜鉛，マグネシウム，カリウムに対しては0.1%水準で有意な正の相関が認められた。またナトリウムはこれとは逆にカルシウム以外と負の関係にあったが，有意なものでなかった。カリはリン，マグネシウム，鉄，亜鉛と0.1%水準で有意な相関が認められた。マグネシウムは亜鉛，リン，鉄，マンガンと有意な正の相関が認められた。このように無機成分含有率の相関行列表中の50%で有意な相関があり，この内の93%が正の相関であった。また，これらのほとんどはリン，カリ，マグネシウム，鉄，亜鉛の相互のものであり，これらの無機成分は密接に関係しながら増減すると考えられる。これに対してナトリウム，カルシウム，マンガンは他の無機成分にあまり関係なく増減するものと考えられた。

食味に関係する特性値のなかから蛋白含有率，アミロース含有率，アミログラム最高粘度を選び無機成分との関係を検討した。蛋白含有率と無機成分との関係には有意性が認められなかった。またアミロース含有率，アミログラム最高粘度にはリン，マグネシウム，亜鉛で有意な相関が認められた。この相関はアミログラム最高粘度よりもアミロース含有率でより大きかった。

Table 16は北海道産米と本州産米の無機成分を比較するために分析値の平均，変異係数，90%信頼

区間を示した。北海道産米の無機成分は本州産米に比較してリン，マグネシウム，鉄，亜鉛含有率が低く，カリ，ナトリウム，カルシウム含有率が高かった。特にリン，カリ，マグネシウムでその差が大きかった。変異係数は北海道産米，本州産米のいずれもナトリウム，鉄含有率が他の無機成分より著しく大きかった。またリン，マグネシウム，亜鉛含有率の変異係数は本州産米より北海道産米が著しく大きかった。90%信頼区間はどの無機成分も北海道産米が重なり両者に有意な差は認められなかった。

第4節　飯のテクスチャー

倉沢ら[53]によれば飯の食味は流体が示す粘性率とはいくぶん異なり，むしろ飯つぶ間の付着性に近いとしている。さらに谷ら[99]は米の理化学的な6要素と食味試験の総合評価との重相関係数は r =0.85であり，寄与率は72%であることを明らかにしているが，食味は飯の理化学的要素が大部分を占めていることを推測した。これらの結果から米の食味は他の食品と異なり，甘酸苦鹹などの味の4原味に支配されることが少なく，どちらかと言えば理化学的性質，すなわち飯のテクスチャーによってきまることが示唆される。したがって北海道産米と本州産米のテクスチャーの違いを知ることは食味向上の手法を検討する上で重要となる。

Fig.33に新潟県産「コシヒカリ」と北海道産「イシカリ」のテクスチュログラムを示した。またTable 17には1973年産の本州13県，19品種，計40点と北海道5市町，14品種，計38点の硬さ(H)，粘り(－H)，H/－H値の平均値，標準偏差，90%信頼区間を示した。

北海道産米の硬さは平均値で本州産米より大きく，変異係数は逆に小さいことから安定して硬いことがうかがわれる。90%信頼区間での硬さの上限は両者に差が認められないが，下限で大きい差が認められた。このことは本州産米が軟らかい飯の多いことを示すものであろう。一方，北海道産米の粘りは平均値で本州産米より小さいのに対し，変異係数は大きいことが明らかになった。この粘りの差は0.65とかなり大きいものであり，北海道産米の飯が粘らない特徴を示した。硬さと粘りの比を示すH/－Hは北海道産米が本州産米より顕著に大きく，変異係数も大きい値を示した。口腔内で飯を咀しゃくする時には硬さ，粘りを別々に判断するものではなく，どちらかといえば両方の性

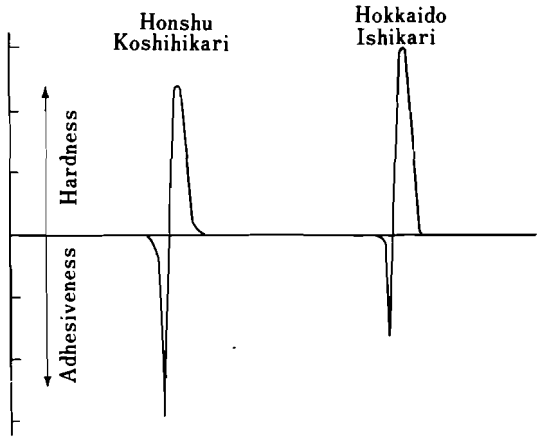


Fig. 33. Difference in texturograms between Hokkaido and Honshu rice.

Table. 17. Comparison of texturograms between Hokkaido and Honshu rice.

	Hardness (H)		Adhesiveness (－H)		H／－H	
	Hokkaido	Honshu	Hokkaido	Honshu	Hokkaido	Honshu
Mean (T. U.)	4.16	3.82	2.24	2.89	9.82	6.89
Standard deviation	0.17	0.36	0.48	0.45	2.71	1.74
C. V. (%)	4.1	9.4	21.4	15.6	27.6	25.3
90% confidence interval	3.87～4.45	3.21～4.43	1.43～3.05	2.13～3.65	5.26～14.38	3.96～9.82

Table. 18. Comparison of soluble components between Hokkaido and Honshu rice

	Cooking qualities			Soluble components (mg%)								Soluble ratio (%)				
	Water up take ratio	Expanded volume	Total solid	Carbohyd-rata (A)	Amylose (B)	B/A×100	Protein	Sugar	P	K	Mg	Amylose	protein	P	K	Mg
Hokkaido																
Mean	3.06	30.8	3374	2714	1013	37.3	271	48.0	7.6	59.9	7.1	4.5	0.32	8.1	56.1	38.6
C. V.	6.4	4.1	14.3	12.6	15.1	9.0	9.8	13.3	7.2	7.5	3.1	14.2	7.2	4.6	10.5	7.0
Honshu																
Mean	2.99	30.9	2883	2274	692	30.4	217	35,1	4.5	47.0	6.0	3.6	0.27	7.3	49.0	31.3
C. V.	2.5	11.6	14.9	13.4	14.6	12.9	14.7	18.2	9.8	9.8		10.6	9.6	5.3	5.3	13.1
Total																
Mean	3.02	30.9	3161	2494	853	34.2	244	41.5	7.8	53.4	6.8	4.1	0.30	7.7	51.9	36.0
C. V.	5.0	8.4	16.4	15.6	24.3	14.5	16.5	21.9		14.8	6.9	17.3	11.0	6.9	13.5	22.8

質を総合した形で感じるので，その意味でH/－H値は重要な尺度となろう。

以上のように北海道産米は本州産米より硬くて粘りの少ない性質を示し，H/－H値の差はきわめて大きかった。したがって北海道産米の食味を向上するためには軟らかく粘る性質を付与する必要が認められた。

第5節　可溶性成分

米粒に含まれる可溶性成分は炊飯液中に溶出し，これが飯の表面に付着し飯の性質に影響を与える可能性がある。北海道産米は本州産米より低温で登熟し，未熟粒も多く混入している。したがって北海道産米と本州産米の可溶性成分を比較することは食味向上にとって重要となる。

そこでこの可溶性成分を測定するため精白米8gを20メッシュの金網カゴに入れ，これを180mℓの蒸溜水の入った300mℓのトールビーカーに入れ，97℃の熱水中で20分間放置後に溶出する各成分を測定した。供試試料は1969，1970年の2ヶ年にわたり北海道産米は6市町，3品種，合計15点，本州産米は6県，10品種，合計15点を用いた。

Table 18は北海道産米と本州産米の可溶性成分の平均値と変異係数を示した。溶出固形物は北海道産米が本州産米より大きく，その8割前後が炭水化物であった。この溶出炭水化物中のアミロース量は北海道産米が本州産米より著しく高くなった。米澱粉中のアミロース含有率は北海道22.3%，本州19.3%でその差は3.0%であり，これに比較すると溶出炭水化物中のアミロース含有率は北海道37.3%，本州30.4%でその差は6.9と米澱粉の差より大きかった。

これはアミロペクチンよりはアミロースがすい飯中に溶出し易いことを示しており，本州産米よりは北海道産米でその傾向がより大きいことを示すものであった。

溶出蛋白質は溶出固形物の約1割を占めており北海道産米が本州産米より大きかった。溶出蛋白質は全蛋白質の0.3%前後と小さく，アミロースの1/10程であった。溶出糖は北海道48.0，本州35.1となり，北海道産米が高い値を示した。

溶出リンは精白米100g当たり北海道産米で7.6mg，本州産米4.5mgであった。これは全リン含量の7～8%に相当していた。これに対して溶出カリは溶出リンよりはるかに大きく，北海道産米で59.9mg，本州産米47.0mgであり，これは全カリ含有量の50%に達するものであった。溶出マグネシウムも北海道産米が本州産米より大きかった。

北海道産米はほとんどの可溶性成分で多かったが，本州産米と特に大きな差を認めたのはアミロース，リン，糖であった。炊飯時におけるこれらの可溶性成分は飯の表面に付着し食味に影響を与えているものと考えられ，北海道産米のアミロース，リン，糖などの可溶性成分を少なくする必要

性が認められた。

第6節　要　　約

本章は食味特性を向上させるための方途とその具体的な手法を明らかにする目的で，北海道産米の食味に関係する理化学的性質を本州産米を対照として検討した。

アミロース含有率は本州197点の平均値19.9%に対し北海道産米97点の平均値22.9%，その差は，3.0%で明らかに北海道産米が高かった。北海道産米のアミロースは質・量ともに相違することを認めた。熱糊化性を示すアミログラム最高粘度値，ブレークダウン値は北海道産米が本州産米より低く，米飯は粘りが少なく硬い性質を示した。また米飯の老化も進み易いことを認めた。このようなことから，北海道産米は本州産米に比較して熱糊化性および老化性，アミロースの質および量の相違することが特徴の一つとして指摘された。

これらの結果は北海道産米を改善する方向として，熱糊化し易く老化し難い性質を導入する必要を示唆するものであり，具体的手法の一つとして低アミロース米生産の重要性が考えられた。

第III章　食味特性と各種成分の相互関係の検討

北海道産米の食味を向上するためには第II章に示したように食味特性を本州優良米に匹敵するように改良することが肝要となる。品種，栽培技術の改良には食味特性と各種成分の相互関係を熟知し，食味向上に最も有効となるようにバランスよく向上してゆくことが必要である。ここでは本研究が目指する熱糊化し易く老化し難い性質を北海道産米に付与するために重要となる炊飯特性とアミロース，および蛋白の関係，老化性とアミロースの関係など食味向上に重要となる因子を取り上げて相互関係を検討した。

第1節　食味特性に対するアミロースの影響

アミロースは澱粉の熱糊化性と澱粉糊の老化性に関係することが知られている[9,10]。食味特性は米粒中の7割以上を占める澱粉の熱糊化性に支配されており，その性質はアミロースに影響されるものと推測される。ここでは米の食味特性に対するアミロース含有率の影響について検討した。なお，ここで用いる食味特性とはテクスチュログラム特性値，アミログラム特性値，炊飯特性値とそれに食味試験結果を加えたものである。

食味試験は1970年産米，北海道2市町，4品種，本州3県6品種，合計12点を用い，「ほうりゅう」を標準とし10名のパネラーで実施した。テクスチュログラム特性値は1983年産米，北海道5市町，15品種，本州14県，25品種，合計78点を用い，第I章に示した分析法で飯の粘り(－H)，硬さ(H)，H/－Hを測定した。アミログラム最高粘度は1980，1983年の2ヶ年にわたり本州36県，44品種，合計203点，北海道5市町村，15品種，合計81点を用いた。炊飯特性は1969，1970年の2ヶ年に北海道6市町，3品種，合計15点，本州6県，10品種，合計15点を用いて，小山ら[47]が用いた方法で行なった。アミロース含有率の分析法は1969，1970年試料が電流滴定法，1980，1983年試料が第I章に示したオートアナライザーによる自動分析法である。

食味特性とアミロース含有率の関係を明らかにするために相関係数と回帰式を計算し，その結果をTable 19に示した。さらに主要な食味特性とアミロース含有率の相関図をFig. 34に示した。

アミロース含有率はテクスチュログラムで示さ

Table. 19. Relationship between amylose content and each eating characteristic.

	Correlation coefficient	Regression equations
Texturogram		
Hardness (H)	r = +0.744 **	Y = +0.086X + 2.07
Adhesiveness (－H)	r = －0.679 **	Y = －0.136X + 5.60
H/－H	r = +0.660 **	Y = +0.63X － 5.62
Amylogram		
Maximum、viscosity	r = －0.789 **	Y = －39X + 1330
Cookjng qualities		
Water up take ratio	r = +0.110	Y = +8.98X + 2.84
Expanded volume	r = +0.551 **	Y = +0.47X + 20.5
Total solid	r = +0.647 **	Y = +182X － 619
Sensory test		
Synthesis	r = －0.946 **	Y = －0.52X + 11.31
Adhesiveness	r = －0.908 **	Y = －0.48X + 10.49
Hardness	r = +0.885 **	Y = +0.31X － 6.76

*, **：Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

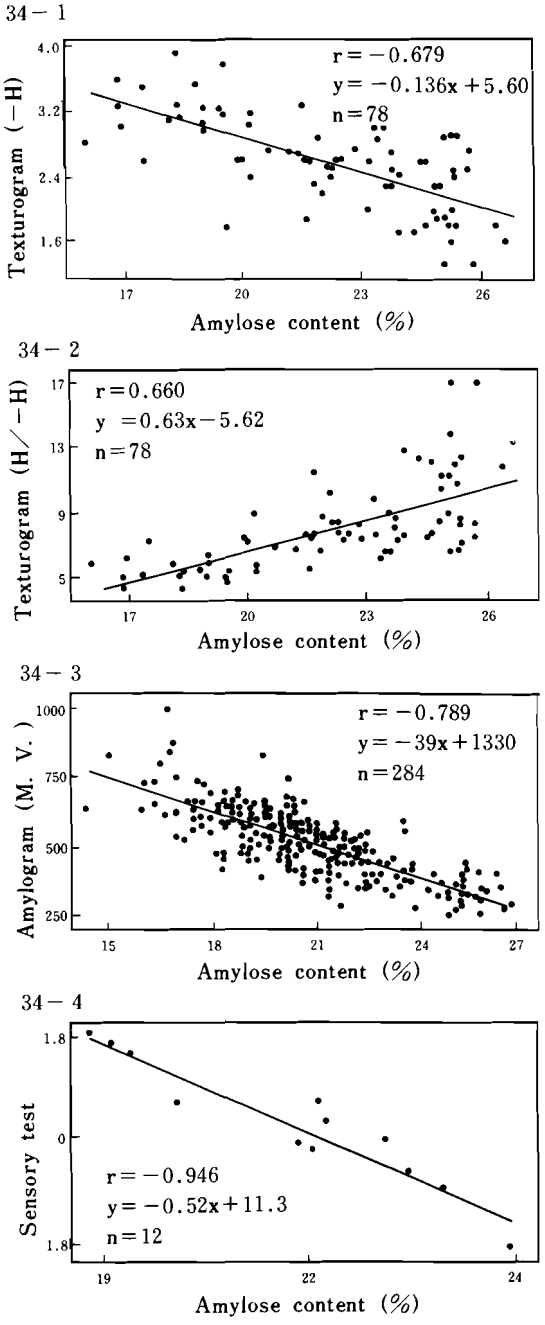


Fig. 34. Relationship between amylose content and eating quality.

れる飯のH(硬さ)と正，－H(粘り)と負，H/－Hと正の相関があり，これらはいずれも有意なものであった。Fig.34－1，－2の相関図からはアミロース含有率の高いところで相関性がやや小さくなることが認められた。いずれにしても，この結果はアミロース含有率が高まれば飯は硬くて粘りが小さくなることを示すものであり，良食味の米には低アミロースであることが重要であることを知った。

米澱粉の熱糊化性を示すアミログラム最高粘度はアミロース含有率と r＝－0.789（n＝284）の有意性の高い相関を示した。またFig.34－3にみられる相関はアミロース含有率のどの範囲でも認められる。したがってアミロース含有率はアミログラム最高粘度で示される米澱粉の熱粉化性に対し，きわめて密接な関係を示すことが明らかとなった。炊飯特性の加熱吸水率とアミロース含有率に有意な相関が認められなかったが，膨張容積，溶出固形物とは正の有意な相関が認められた。この結果はアミロース含有率が高ければ炊飯後のかまぶえが大きく，炊飯中のおねばの濃度が高まることを示した。

以上の結果，アミロース含有率は炊飯時における米の熱糊化に密接に関係し，飯の物理的性質に対しても支配的に働くものと推定された。そこでアミロースが食味に対しどの程度の関係があるかを明らかにするため食味試験の粘り，硬さ，総合評価値との関係について検討を加えた。食味試験の総合評価値とアミロース含有率には r＝－0.946（n＝12）と有意な関係が認められた。またアミロース含有率は粘りと正，硬さと負の有意な相関が認められ，その関係は粘りが硬さより密接であった。したがって北海道産米の食味を向上するためにはアミロース含有率を低下させることが必要であることが明らかになった。

第2節　食味特性に対する蛋白含有率の影響

米粒中に含まれる蛋白質は食味特性と密接であることが知られている[63.115.119]。これらはいずれも1～2品種をかぎられた地域で土壌，施肥窒素量の異なるものから生産された米に対する評価であり，この結果が多くの品種あるいは地域で生産された米に適応できるかいなかは不明であった。そこで食味向上のための品種改良や施肥，栽培技術の確立には蛋白質と食味特性の関係をより広く捉えることが必要となった。ここでは多くの品種あるいは地域で生産された米の食味特性と蛋白含

Table. 20. Relationship between protein content and eating quality.

	Correlation coefficient	Regression equations
Texturogram		
Hardness(H)	r = +0.350 **	Y = +0.13X + 2.9
Adhesiveness(−H)	r = −0.603 **	Y = −0.38X + 5.7
H/−H	r = +0.648 **	Y = +1.94X − 7.7
Amylogram		
Maximum viscosity	r = −0.047	Y = −5.6X + 563
Amylose content	r = −0.307 **	Y = −0.7X + 26.8
Cooking qualities		
Water up take ratio	r = +0.132	Y = +0.03X + 2.8
Expanded volume	r = +0.731 **	Y = +2.0X + 13.5
Total solid	r = +0.383 *	Y = +309X + 622
Sensory test		
Synthesis	r = −0.530	Y = −0.93X + 7.9
Adhesiveness	r = −0.585 *	Y = −0.98X + 8.4
Hardness	r = +0.723 **	Y = +0.81X − 6.8

*, **: Significant at the 5% and 1% levels, respectively.

有率の関係を検討した。供試試料は第3章，第1節のものと同一であり，蛋白質の分析は第1章に示したインフラライザーで行った。

Table 20は食味特性と蛋白含有率の関係を明らかにするために相関係数と回帰式を計算し，その結果を示した。さらにテクスチュログラムH／−H，膨張容積と蛋白含有率の相関図はFig.35に示した。

蛋白含有率はテクスチュログラムで示される飯のH(硬さ)と正，−H(粘り)と負，H/−Hと正の相関が認められ，これらはいずれも有意なものであった。Fig. 1の相関図からは蛋白含有率が，8.5%以上でこの関係が明瞭であることが認められた。この結果は蛋白含有率が高ければ飯は硬くて粘りが小さくなることを示すものであり，良食味の米は低蛋白であることが必要と考えられた。

蛋白含有率はアミログラム最高粘度と無相関であったが，アミロース含有率とは r = −0.307 (n = 284)の有意な相関が認められた。この相関係数はFig.34に示したアミロース含有率とアミログラム最高粘度との相関係数 r = −0.789(n = 284)よりはるかに小さく，この意味で低アミロースでありながら低蛋白質である品種，栽培法の確立の可能性が認められた。一方，炊飯特性の加熱吸水率と蛋白含有率に有意な相関が認められなかったが，

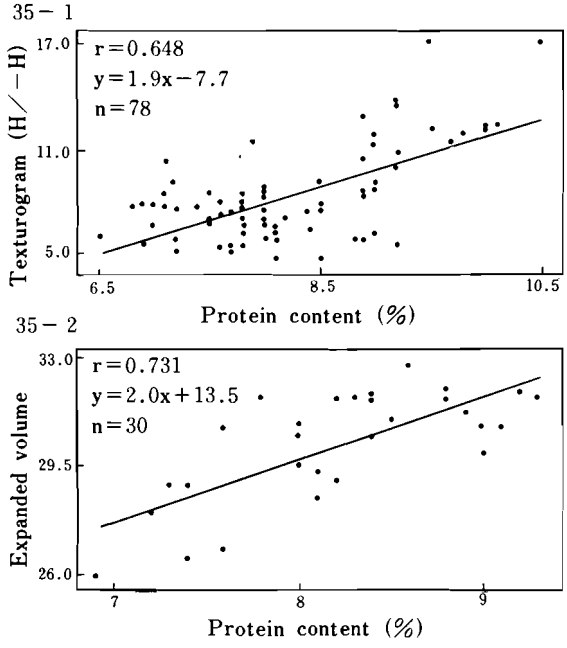


Fig. 35. Relationship between eating quality and protein content of rice.

膨張容積，溶出固形物とは正の有意な相関が認められ，特に膨張容積には高い相関が認められた。さらに r＝0.731（y＝2.0 x＋13.5，y＝膨張容積，x＝蛋白含有率）からは蛋白含有率が高まれば，かまぶえも急な勾配で大きくなることが認められた。これらの結果は蛋白含有率が飯の理化学的性質に密接に関係することを示すものであり，食味に重要な影響を与えることを示唆するものであった。そこで食味に対して蛋白含有率がどの程度の関係があるかを明らかにするため食味試験の粘り，硬さ，総合評価値と蛋白含有率の関係について検討した。食味試験の総合評価値と蛋白含有率には r＝－0.530（n＝12）の相関が認められたが，これは有意なものでなかった。しかし，粘りとは r＝－0.583（n＝12），硬さとは r＝0.723（n＝12）の有意な相関が認められた。これらの食味特性に対する蛋白含有率の関係はアミロース含有率と比較するとはるかに小さいものであった。いずれにしても北海道産米の食味を向上するためには蛋白含有率を低下させることが必要と考えられた。

第３節　食味特性と可溶性成分の関係

北海道産米は本州産米よりも可溶性成分の多いことは第II章，第５節に示した。ここでは食味特性と可溶性成分がどのような関係にあるかを検討した。供試試料は1969，1970年の２ヶ年に北海道６市町，３品種，合計15点，本州６県，10品種，合計15点を用いた。可溶性成分の分析方法はガーゼで除糖した８g.の白米を20メッシュの金網カゴに入れ，これを97℃の熱水中で20分間放置し，この時に溶出した成分値で示した。

食味特性と蛋白含有率の関係を明らかにするために相互の相関係数を計算し，その結果をTable 21に示した。さらに溶出固形物と全炭水化物，溶出全炭水化物と溶出アミロース，米粒成分と溶出成分の関係をFig. 36，37，38に示した。

飯の吸水率を示す加熱吸水率はどの可溶性成分とも有意な関係が認められなかった。これに対し膨張容積はリン，カリ，を除くすべてに正の有意な関係が認められた。これは飯の釜ぶえが糊化時の可溶成分に密接であることを示すものであった。アミロース含有率，蛋白含有率はほとんどの可溶性成分と有意な相関が認められ，両成分が可溶性成分と緊密な関係にあることがわかった。また，可溶性成分はアミログラム最高粘度，ブレークダウン値のいずれとも有意な相関が認められ，この結果は可溶性成分が熱糊化性と関係のあることを

Table. 21. Correlation coefficient for soluble components and eating quality of rice.

	Soluble components						
	Solid	Carbohydrate	Amylose	Protein	Sugar	P	K
Cooking qualities							
Water uptake ratio	−0.153	−0.176	−0.017	0.173	−0.015	−0.063	0.165
Expanded volume	＊＊ 0.649	＊＊ 0.598	＊＊ 0.523	＊ 0.444	＊＊ 0.487	−0.281	0.328
Amylose content	＊＊ 0.647	＊＊ 0.610	＊＊ 0.855	＊＊ 0.796	＊＊ 0.743	＊＊ −0.536	＊＊ 0.845
Protein content	＊ 0.388	0.261	＊＊ 0.656	＊＊ 0.844	＊＊ 0.681	＊＊ −0.764	＊＊ 0.748
Amylogram							
Maximum viscosity	＊＊ −0.747	＊＊ −0.711	＊＊ −0.759	＊＊ −0.518	＊＊ −0.695	＊＊ 0.362	＊＊ −0.590
Final viscosity	−0.194	−0.226	0.098	＊＊ 0.372	0.147	−0.191	＊ 0.376
Breakdown	＊＊ −0.572	＊＊ −0.507	＊＊ −0.759	＊＊ −0.645	＊＊ −0.787	＊＊ 0.470	＊＊ −0.728
Consistency	−0.138	−0.168	0.136	＊＊ 0.466	0.227	−0.190	＊ 0.415

＊，＊＊：Significant at the 5％ and 1％ levels, respectively.

示すものであった。これに対して最終粘度，コンシステンシーは蛋白，カリを除く可溶性成分で相関がなく，これは可溶性成分が熱糊化した後の糊の物理的性質にあまり関係しないことを示すものと考えられる。

溶出固形物はFig.36に示すようにその回帰から77.5%が全炭水化物であり，その相関係数は r = 0.974(n =30) と有意なものであった。

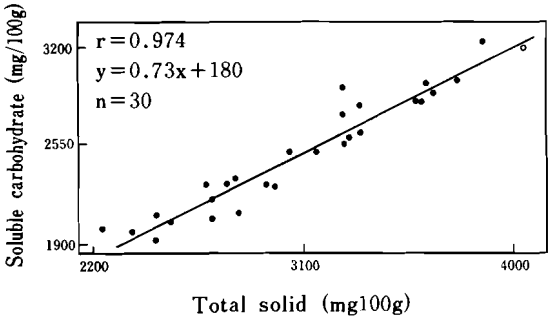


Fig. 36. Relationship between total solids and soluble carbohydrates in rice.

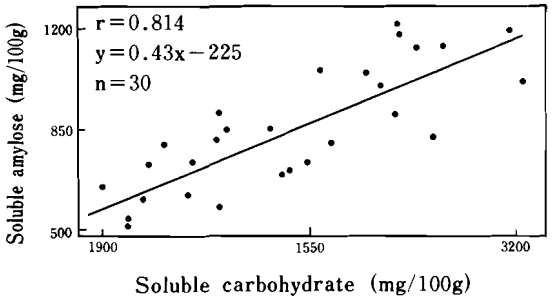


Fig. 37. Relationship between soluble carbohydrate and soluble amylose in rice.

可溶性全炭水化物は可溶性アミロースと r =0.814 (n =30)の相関が認められ，その回帰式はこの全炭水化物の36%がアミロースであることを示していた。供試試料の米粒中におけるアミロース含有率は20.6%であるから炊飯時のおねば中に溶出するアミロースはアミロペクチンよりも溶出し易いことが認められた。

アミロース，蛋白，リン，カリはFig.38に示すように米粒成分と溶出成分の間に有意な相関が認められ，溶出成分量は米粒中に含まれる成分量に支配されていることが認められた。しかし米粒成分の溶出割合をFig.38に示す回帰から計算すると

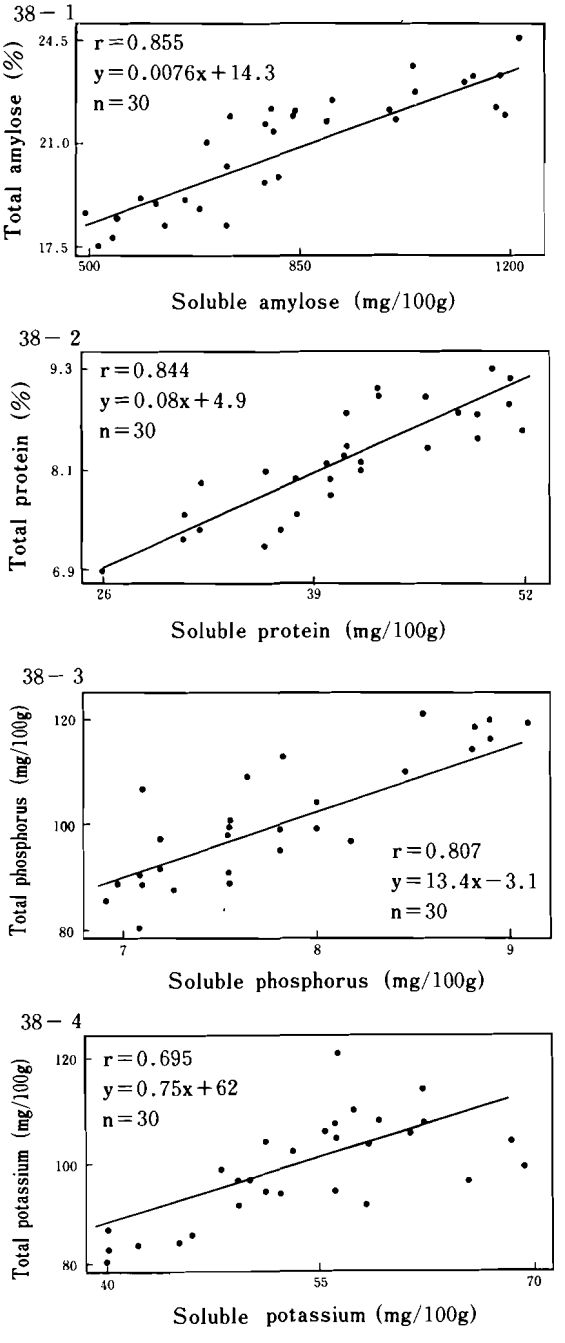


Fig. 38. Relationship between solid and soluble components of rice.

アミロース7.0%, 蛋白0.6%, リン7.7%, カリ61.1%となり，それぞれの成分で大きく異った。これらの結果から可溶性成分は食味特性と関係の緊密なことが認められ，北海道産米の食味向上のためには溶出成分，特にアミロースの低下が必要であると考えられた。

第4節　老化性とアミロースの関係

飯は常温で放置すると粘りがなくなり，硬くなるのが一般的である。これは米粒中で糊化した澱粉が老化することによって起こることが知られている。一方糊化した澱粉の老化はアミロースの老化が主導的な役割をはたしており，アミロペクチンより早く起こることが知られている[11]。しかし米粒中のアミロース含有率が飯の老化にどのような影響を与えるかについては明らかでなく，高アミロース米の老化性を明らかにすることは北海道産米の食味向上にとって重要である。そこでここではアミロース含有率と老化の関係について検討した。

供試試料は1972年産の本州，2県，3品種，北海道，5品種の合計8点を用いた。老化の評価法はジアスターゼ法[114,122]，グルコアミラーゼ法[109]，β－アミラーゼ，プルラナーゼ(BAP)法[40]，ヨウ素電流滴定法[11]などがあり，さらに老化による物理的性質を調べるにはテクスチュロメーターを用いる方法もある。

アミロース含有率18.5%の低アミロース米と23.5%の高アミロース米を炊飯し，5℃の冷室中に放置し老化速度をBAP法で測定し結果をFig.39に示した。BAP法による老化値はグルコアミラーゼ法よりも初期老化の評価が適確であることが知られている[40]。5℃の冷室に放置した飯の老化は1～2日の早い時期で急速に起こり，その後は緩慢に老化が進行した。高アミロース米は低アミロース米よりも初期の老化が大きく，その後は徐々に老化が進み両者の差が広まることが認められた。

アミロースの老化を評価できるヨウ素電流滴定法による老化度とアミロース含有率の関係をFig.40に示した。この場合の老化の条件は初期老化をみるために飯を0℃で3時間放置したものを用いた。アミロース含有率とヨウ素電流滴定法による

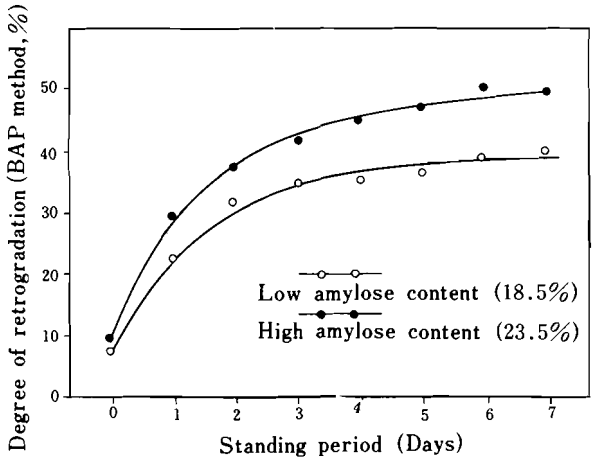


Fig. 39. Influence of amylose content on retrogradation of rice.

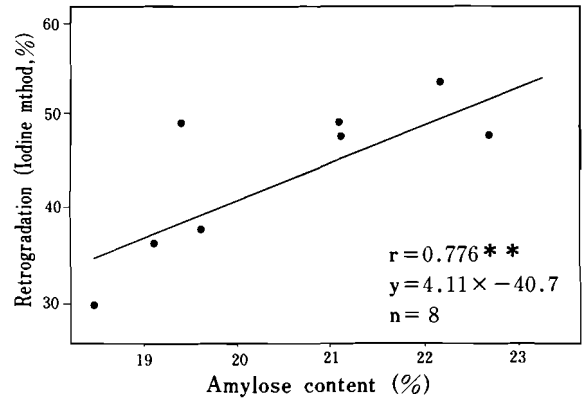


Fig. 40. Relationship between amylose content and degree of retrogradations determined by iodine method.

老化度には r =0.776(n = 8) の有意な相関を認めた。これはアミロースの老化がアミロース含有率に依存していることを示すものであり，特に初期老化に関係することが認められた。さらに同じ試料をグルコアミラーゼ法で老化を測定した結果をFig.41に示した。以上の結果からヨウ素電流滴定法で得られた老化値から老化アミロースの澱粉糊全体に占める割合を計算すると，グルコアミラーゼ法による老化値に近づくことが認められた。したがって，アミロースの老化は飯の初期老化の大部分を占めており，アミロース含有率が主導的な役割を持つと考えられる。

飯を0℃で3時間放置後の物理的性質を測定し，これによる飯の老化とアミロース含有率の関係を

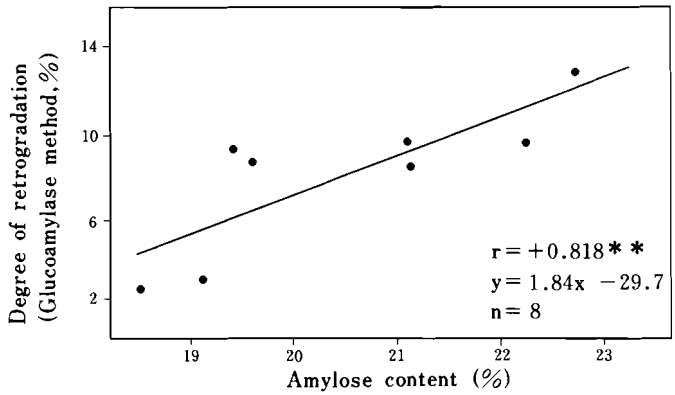


Fig. 41. Relationship between amylose content and degree of retrogradations determined by glucoamylase method.

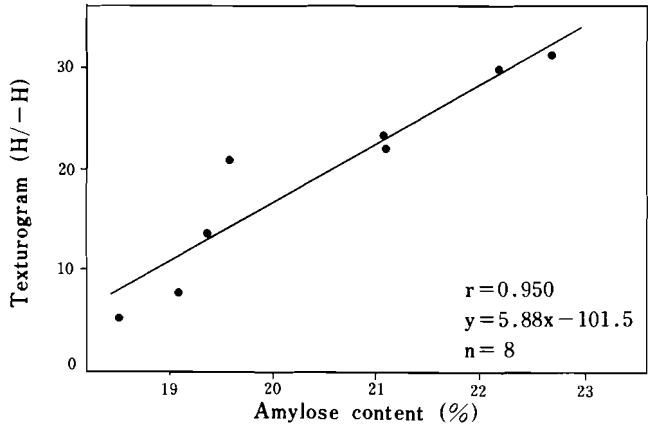


Fig. 42. Relationship between amylose content and texturogram of retrograded rice.

Fig.42に示した。テクスチュログラムのH(硬さ)と−H(粘り)の比はアミロース含有率と r =0.950 (n = 8)と有意な相関を示した。この相関係数はヨウ素電流滴定法やグルコアミラーゼ法による老化値との相関係数よりもはるかに大きい。すなわちアミロース含有率は飯の老化，初期に起こる老化に対して重要な因子になっていることを示している。特に冷飯の物理的性質を劣化させている主要因と考えられる。

第5節　要　　約

北海道産米の食味向上には食味特性と各種成分の相互関係を検討し，食味に有効となるようにバランスよく向上することが必要となる。本章では食味向上に重要となる因子を取り上げて相互関係を検討した。

アミロース含有率は炊飯時における米の熱糊化と密接に関係し，飯の粘り，硬さなどの物理的性質に対し有意な関係にあることを認めた。したがってアミロース含有率を低下させることにより，これらの諸性質を向上できることを知った。蛋白含有率は食味特性に対し有意な相関のあることを認めた。この相関はアミロース含有率と食味特性の関係よりも弱かった。北海道産米の食味を向上させるためには蛋白含有率を低下させることが必要と考えられた。可溶性成分も食味特性と関係していることが認められ，北海道産米の食味向上のためには可溶性成分，特に溶出アミロースの少ないことが必要と考えられた。また老化性はアミロース含有率と有意な相関のあることを認めた。

したがってアミロース含有率，蛋白含有率を低下させることは熱糊化性や老化性を改善し，北海道産米の食味向上に取って有効であることを知った。