

甘味料の機能と食品への利用

小田 恒郎*

はじめに

最近、新しい甘味料の機能に関する研究開発が注目を集めている。

まず、マルトースに水素添加したマルチトールが低カロリーの虫歯にならない甘味料として開発された¹⁾。次に、オリゴ糖に水素添加したオリゴ糖アルコールが低う蝕性の低甘味・保湿剤として開発された²⁾。その後、低う蝕性甘味料として、砂糖にデキストリンからのグルコースを転移させたカップリングシュガーが市販された³⁾。最近では、ステビオサイド⁴⁾、ラクチュロース^{5,6)}、フラクトオリゴ糖⁷⁾、パラチノース⁸⁾、アスパルテーム⁹⁾、直鎖オリゴ糖など各種の新しい甘味料が各種の機能を目的として開発されている。

このような現状において、新しい甘味料の製法、機能および食品への利用例について概要を解説した。

新しい甘味料の製法

1). デンプン糖アルコール²⁾

デンプン糖アルコールとは、各種のデンプン糖に水素添加（還元）したものである。具体的には、ブドウ糖、マルトース、水アメおよび粉アメを水素添加したソルビトール、マルチトール、還元水アメおよび還元粉アメが製造販売されている。

2). カップリングシュガー³⁾

カップリングシュガーは、砂糖を原料とし、糖転移酵素 (Cyclodextrin glucano transferase) を作用させ、砂糖のグルコース側に1~3ケのグルコースを結合させたものである。

市販品としては、未反応の砂糖 (12%) の他、グルコース (6%)、マルトース (9%)、デキストリンなどが約50%含まれている。

3). ラクチュロース^{5,6)}

ラクチュロースは、ラクトースのアルカリ異性化(Lo-

bry de Bruyn & Alberda van Ekenstein 転換) により製造される。市販品としては、ラクチュロース (75%) の他にラクトース、ガラクトース、グルコースなどを含んでいる。

ラクチュロースの構造は、ガラクトースとフラクトースが β -1,4結合した二糖類である。天然物ないし、その処理物中でのラクチュロースの存在は、加熱処理して製造される乳製品の中に、あるいは乳製品の貯蔵中にも微量ながら生成することが確認されている。

4). フラクトオリゴ糖⁷⁾

フラクトオリゴ糖は、砂糖に果糖転移酵素 (Fructosyl transferase) を働かせ、砂糖のフラクトース残基に1~3個のフラクトースを結合させた少糖類である。これらのフラクトオリゴ糖は、アスパラガス、ゴボウなどの高等植物に広く分布しているが、その量は微量である。市販されているフラクトオリゴ糖は、フラクトオリゴ糖(55%)を主成分としたグルコース (35%)、砂糖 (10%) などを含んだもの、およびフラクトオリゴ糖95%以上のものが市販されている。

5). パラチノース⁸⁾

パラチノースは別名イソマルチュロースともいわれ、砂糖を原料として、ブドウ糖転移酵素 (α -glucosyl transferase の一種) の作用により、砂糖 (グルコースがフラクトースに α -1,2- β 結合している) の結合を別の結合 (α -1,6結合) にかえたものである。パラチノース製品としては、純度99%ものと85%くらいのものがみうけられる。

6). マルトースおよび直鎖オリゴ糖

マルトースおよび直鎖オリゴ糖は、デンプンを原料とし、デンプン液化酵素 (α -amylase)、枝切り酵素 (pullulanase) およびマルトース生成酵素 (β -amylase) を作用させて製造される。すなわち、デンプンからマルトース、マルトリオースなどの直鎖オリゴ糖を生成し、その後イオン交換樹脂で分離することにより、純度95%のマルトース、およびマルトリオースを主成分とした直鎖オリ

* 日研化学株式会社開発部

甘味料の機能と食品への利用

糖が最近開発され、販売されている。

7). ステビオサイド⁴⁾

ステビオサイドは、南米原産のキク科の植物 (Stevia rebaudiana BERTONI) 中に含まれている甘味物質である。従って、ステビオサイドの製法は、ステビアを原料とし、抽出、精製を行ったものである。

次に α -グルコシルステビオサイドは、ステビオサイドに糖転移酵素 (cyclodextrin glucano transferase) を作用させ、デキストリンのグルコースを5~7個付加させたものである。

8). アスパルテーム⁹⁾

アスパルテームの製法は、純化学合成による方法と一部酵素反応による方法があり、L-フェニルアラニンをメチル化した後、L-アスパラギン酸と縮合して合成されている。

各種甘味料の機能

1. 食品加工適性

表 2. 甘味料の機能と利用の現状
(砂糖を基準にした分類)

甘味料の機能	甘味料名
[A]食品加工適性	
(1)安 価 (甘味度に対し)	サッカリンナトリウム, 異性化糖
(2)低 甘 味 (保形性)	直鎖オリゴ糖, マルトース, 水飴, 粉飴, 還元水飴, 還元粉飴
(3)吸 熱 作 用 (清涼感)	ソルビトール
(4)耐 熱 性	ソルビトール, マルチトール, 還元水飴, 還元粉飴
(5)保 湿 性	ソルビトール, 還元水飴, 直鎖オリゴ糖, 水飴
(6)難 吸 湿 性	乳糖, マンニトール
(7)アミノ酸との非 反応性(褐変防止)	ソルビトール, マルチトール, 還元水飴, 還元粉飴
(8)アミノ酸との 反応性(着色)	キシロース
(9)浸 透 性	ソルビトール, 異性化糖
(10)水分活性低下作用	ソルビトール, 異性化糖
(11)増 粘 性	粉飴, 還元水飴
(12)非 発 酵 性	ソルビトール, マルチトール, 還元水飴, サッカリンナトリウム, ステビオサイド
[B]ダイエット適性	
(1)低カロリー	マルチトール, サッカリンナトリウム, アスパルテーム, ステビオサイド
(2)インシュリン 非依存性	ソルビトール, マルチトール, サッカリンナトリウム, ステビオサイド, グリチルリチン
(3)低う蝕性	ソルビトール, マルチトール, 還元水飴, カップリングシュガー, フラクトオリゴ糖, パラチノース, サッカリンナトリウム, ステビオサイド
(4)ビフィズス菌 の増殖性	ラクチュロース, フラクトオリゴ糖

1). 低甘味

ここ数年、消費者の甘味離れが強く印象づけられ、甘味が低くて、あっさりした、あと味の切れのよい甘味料が広く求められている。表3は、現在市販されている各種甘味料の甘味度を示したものである。低甘味料としては、デンプン糖アルコールである還元水アメ、還元粉アメ、デンプン糖であるマルトース、直鎖オリゴ糖が利用されている。

表 3. 各種甘味料の甘味度

種 類	甘 味 度
サッカリンナトリウム	350~900
グリチルリチン	200~300
アスパルテーム	200~230
ステビオサイド	100~200
果 糖	1.0~1.5
異性化糖	0.9~1.2
転 化 糖	0.9~1.2
砂 糖	1.0
マルチトール	0.6~0.8
キシロース	0.6~0.8
ソルビトール	0.6~0.75
ブドウ糖	0.6~0.75
ラクチュロース	0.6
カップリングシュガー	0.5~0.6
フラクトオリゴ糖	0.5~0.6
水 飴 (DE 45)	0.45
パラチノース	0.42
マルトース	0.4
還元水飴	0.4
直鎖オリゴ糖	0.3
乳 糖	0.15
還元粉飴	0.15

2). 耐熱性

ブドウ糖、水アメおよび砂糖は110°C以下の温度では安定であるが、120~130°Cになると著しく褐変する。一方、ブドウ糖に水素添加したソルビトールは、180°Cに加熱してもほとんど分解や着色が起こらず、230°C、15分間加熱して微黄色となり、ソルビトールの0.3%が分解するにすぎない。この特性は、各種の食品ならびに界面活性剤やポリウレタンフォームなどの合成原料に有効に利用されている²⁾。

オリゴ糖アルコール (マルチトール, 還元水アメ, 還元粉アメ) は、ソルビトールほどの耐熱性はないが、140~150°Cの加熱に対して安定であり、150~180°Cの範囲の加熱でゆるやかに着色する程度である²⁾。

3). 保湿性

ソルビトールは、砂糖、水アメなどの甘味料の中でも水分保持能力が高い甘味料である。表4は、水分活性

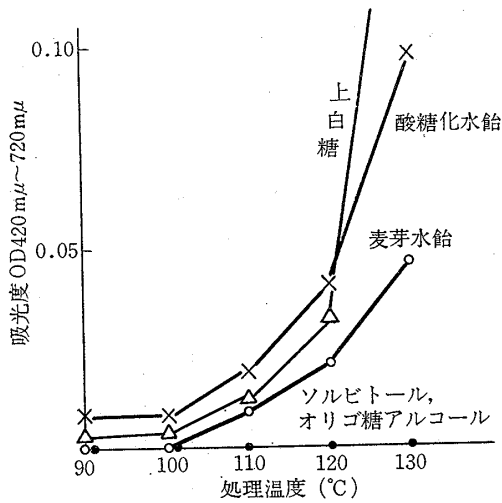


図 1. 処理温度による着色度の変化
濃度: 50%
各温度にて60分間処理

0.6~0.9の外気の状態の時に各々の甘味料が水分を保持する量を100g当りの%で示している。ソルビトールは、砂糖の約2倍の水分保持能力がある。代表的な保湿剤としては、ソルビトール、還元水アメ、直鎖オリゴ糖、水アメなどが市販されている。

表 4. 糖類, 糖アルコール等の水分保持能力

	水分活性			
	0.6	0.7	0.8	0.9
ソルトビール	25.0	35.0	55.0	110.0
果糖	18.0	30.0	44.0	80.0
砂糖	14.0	20.0	35.0	65.0
水飴	14.0	20.0	30.0	54.0
ブドウ糖	1.0	3.5	8.0	22.0
乳糖	4.5	4.7	4.7	—
P G	30.0	46.0	52.0	148.0
グリセリン	38.0	57.0	96.0	160.0

4). アミノ酸との非反応性

ブドウ糖, 水アメなどのデンプン糖は, アミノ酸と反応(メイラード反応)する性質がある。特にブドウ糖は反応しやすい。この性質は, 各種食品の色や香りをつけるのに重要な役割をしている。

一方, 食品の種類や目的によっては, アミノ酸との褐変現象が好ましくないことが多い。図2に示すように, ソルビトールおよびオリゴ糖アルコールは, アミノ酸との反応がなく, 褐変しない。糖アルコールには, アミノ酸と反応する還元基がないためである²⁾。

5). 浸透性

佃煮, 煮豆, 甘納豆をはじめ多くの食品は, 甘味料の浸透速度および吸着量が製造上において重要な要因とな

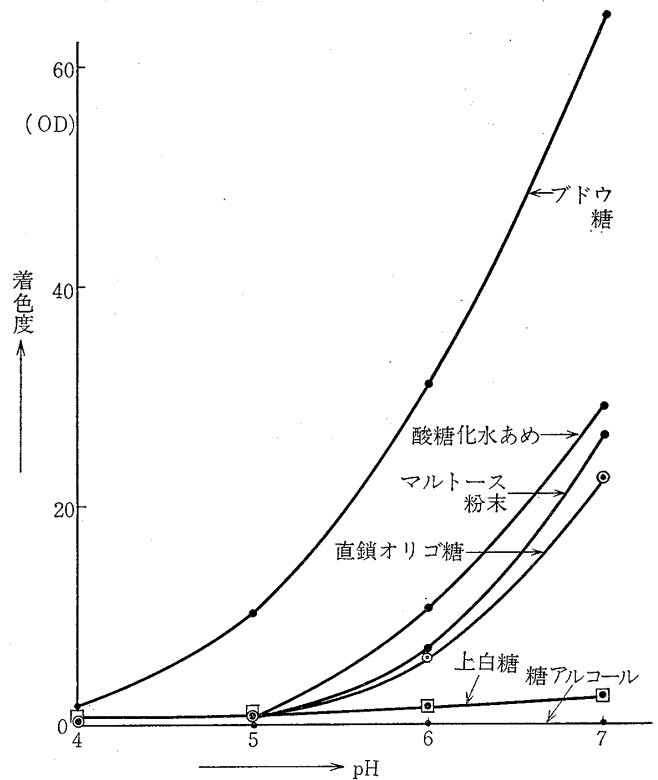


図 2. アミノ酸共存時における褐変
加熱条件: 120°C, 60分
糖濃度: 10%
アミノ酸: グリシン 1%

る。糖類の浸透性は, 分子量(重合度)によって決まる。重合度が大きくなるに従って, 浸透速度が遅くなる。また平衡浸透吸着率も低下する。表5は, 蒸煮豆に対する糖アルコールの平衡浸透吸着率を示したものである¹⁰⁾。

表 5. 蒸煮豆に対する甘味料の平衡浸透吸着率¹⁰⁾

甘味料	平均分子重合度	平衡浸透吸着率(注)
ソルビトール	1	21.60
砂糖	2	20.52
マルチトール	2	18.61
酵素糖化水飴 (DE 42)	2	18.59
還元水飴	2	18.22
還元粉飴	6	12.54

実験方法

- ・内容量 200ml のナス型フラスコに小豆の蒸煮豆(原豆の2.3~2.5倍に膨張したもの) 100gを採取
- ・濃度60%の水溶液200g添加
- ・冷却管を付して, 30°Cの湯浴に24時間浸漬

(注) 平衡浸透吸着率(%) = $\frac{\text{処理前後の固形分量差(g)}}{\text{仕込豆(g)}} \times 100$

2. ダイエット適正

1). 低カロリー

砂糖と同等の粘度, 保形性のある低カロリー甘味料としてマルチトールが大量に使用されている。マルチトー

甘味料の機能と食品への利用

ルは、別名還元麦芽糖ともいわれ、グルコースとソルビトールが α -1,4結合した二糖類アルコールで、砂糖の60~80%の甘味がある。

マルチトールの低カロリー性は、小腸粘膜などの酵素で分解されにくいとされ、消化、吸収されにくいとされている¹¹⁻¹³⁾。また厚生省の低カロリー甘味料にも認められている。一方、最近になってマルチトールは、ラット、犬、ヒト、無菌動物などの実験により、かなりよく分解され、カロリーの点では砂糖と大差ないという報告もみかけられる¹⁴⁻¹⁶⁾。

サッカリンナトリウム、アスパルテーム、ステビオサイドなどの低カロリー性は、これらがカロリーにならないという理由でなく、砂糖の100倍以上の甘味があるため、微量で甘味をつけられることによる。

2). インシュリン低依存性

糖尿病患者の多くは、糖代謝に重要なホルモンであるインシュリンが不足のみである。

ソルビトールは、代謝経路、代謝速度が他の糖質に比較して特異的である。すなわち健康時においてソルビトールは、肝臓でソルビトール脱水素酵素によって特異的に作用を受けフラクトースに変換する。また、糖の利用障害時においては、ソルビトールからフラクトースに至

る経路が阻害され、別の代謝経路が働くと考えられている。須川ら¹⁷⁾は、ソルビトールリン酸化酵素によりソルビトール-6-リン酸となり代謝されると報告している。

ソルビトールおよびフラクトースは、砂糖とほぼ同程度のカロリーになるが、血糖の上昇がみられず、インシュリンの作用をほとんどかりずに代謝されることから、糖尿病用の甘味料として、日本を初め、米国、ヨーロッパで古くから利用されている。

3). 低う蝕性

近年、砂糖のう蝕原性作用が解明されるに伴い、う蝕予防を目的とした甘味料の開発が各国で行われている。それらの代表的なものは糖アルコールだが、わが国においては、新しいタイプの糖類も開発され販売されている。ソルビトール、マルチトール、還元水アメ、カップリングシュガー、フラクトオリゴ糖、パラチノース、ラクチュロースなどがある。

砂糖によるう蝕原性作用は、口腔内細菌のストレプトコッカス・ミュータンス菌により、砂糖が分解され、乳酸などの酸生成、不溶性グルカン生成、菌体の凝集作用などに由来する¹⁸⁾。したがって、低う蝕性甘味料は、これらのう蝕原性作用をほとんど示さない甘味料である。池田ら¹⁸⁾は、表6に示す一連の低う蝕性甘味料の研究結

表 6. う蝕の原因となりにくい甘味料とそれらのう蝕原性¹⁸⁾

甘 味 料	原 材 料	甘味度	う 蝕 原 性 ¹⁾				用 途
			酸生成	不溶性 グルカン 生 成	菌 体 凝 集	動 物 う 蝕	
対 照 砂 糖 (蔗 糖) 糖アルコール類	砂糖きび甜菜	1	卅	卅	卅	卅	広範囲
ソ ル ビ ト ー ル	ブ ド ウ 糖	0.6	+	-	-	-	菓子類, 練製品, 食卓用
キ シ リ ト ー ル	木 糖	1	-	-	-	-	比較的広範囲 ²⁾
マ ル チ ト ー ル	麦 芽 糖	0.8	-	-	-	-	菓子類, ジャム, 食卓用
還 元 水 飴	澱 粉	0.4	-	-	-	±	菓子類, 佃煮類
オリゴ糖類							
カ ッ プ リ ン グ シ ュ ガ ー	蔗糖と澱粉	0.6	+(-) ³⁾	-	±(-) ³⁾	+(-) ³⁾	菓子類, ジャム, 食卓用
ネ オ シ ュ ガ ー (P)	蔗 糖	0.5	±(-) ⁴⁾	-	-	±(-) ⁴⁾	飴, 錠菓,
パ ラ チ ノ ー ス	蔗 糖	0.4	-	-	-	± ²⁾	開発中
ラ ク チ ュ ロ ー ス	乳 糖	0.6	-	-	-	±	乳製品, 食卓用
配糖体							
ス テ ビ オ サ イ ド	植 物 葉	300	-	-	-	ND	各種飲料, 甘味補強
ジペプチド							
ア ス パ ル テ ー ム	ア ミ ノ 酸	180	-	-	-	ND	各種飲料,
タンパク質							
ソ ウ マ チ ン	果 実	2000	-	-	-	ND	漬物, 甘味補強

注: 1) 日大松戸歯学部細菌学教室の研究に基づき作成。ただし 2) は OOSHIMA ら (*Infect. Immun.*, 33: 110, 1983) による。3) 主要成分のグルコシルシュクロース。4) 主要成分のニストース。5) 日本では甘味料として使用できない。ND=実験を行っていない。

果を報告している。

4). ビフィダス菌の増殖性

Tissier らのビフィダス菌に関する研究以来、この菌が母乳栄養時における腸内フローラの重要な菌であることが知られており、現在では、乳児から老人にいたる健康人の重要な菌であることが明らかになっている¹⁹⁾。

ビフィダス菌の増殖因子に関する研究は、数十年にわたって続けられている。1957年に Petuely は²⁰⁾、ラクチュロースがビフィダス菌の増殖因子になることをみだし、その後 Hoffmann ら^{21~23)}、Ruttlof ら²⁴⁾、平田²⁵⁾および高居ら²⁶⁾は、ラクチュロースが強力なビフィダス菌の増殖因子になることを証明している。すなわち Hoffmann ら²¹⁾は、成人にラクチュロースを経口投与して、その後の糞便標本を検索し、対照群と比較している。その結果、表7に示す通り、ラクチュロースの投与は、大腸菌が100分の1に減少し、ビフィダス菌や乳酸菌が10倍にも増加することを明らかにしている。

ラクチュロース以外のビフィダス菌の増殖甘味料としては、フラクトオリゴ糖が開発され、市販されている⁷⁾。

表7. ラクチュロース投与によるビフィダス菌の増殖(ヒト)

	対 照 群	ラクチュロース投与群
総 菌 数	2.38×10^{10}	1.1×10^{10}
大 腸 菌	3.25×10^9	5.9×10^7
ビフィダス菌, 乳酸菌	7.5%	57%
pH	7.2	5.6

注) 対照群11名, ラクチュロース投与群7名の平均値 糞便g当りの菌数

低甘味料の食品への利用例

1). 餅菓子および団子

餅菓子は、モチゴメ、モチ粉、白玉粉などを主原料として製造したものである。これらの原料の主成分であるデンプンは、各種デンプンの中で最も老化しにくいといわれている。しかし、餅菓子は、主にデンプンの老化によって硬くなり、商品価値を失うことが多い。

餅菓子の硬化を抑制する方法として、低甘味保湿剤が利用されている。例えば求肥の場合、餅粉に対し同量以上の直鎖オリゴ糖などを加えることにより、求肥の硬化は著しく改善される。

団子類についても、低甘味保湿剤(直鎖オリゴ糖など)を粉に対し20~30%の割合で使用することにより、団子の硬化抑制が可能となる。

2). 煉りあん

最中あんを始め多くの煉りあんにおいて、低甘味で豆の風味を生かしたものが要求されている。これらの要求

に対し、ソルビトール、還元水アメ、直鎖オリゴ糖、マルトースなどの低甘味・保湿剤が使用されている。代表的な煉りあんの配合例を次に示す。

①並あん(並白あん)	⑩中割あん(中割白あん)
生あん(白)…… 100部	生あん(白)…… 100部
グラニュー糖……20部	グラニュー糖……40部
還元水アメ……20部	還元水アメ……20部
直鎖オリゴ糖……20部	直鎖オリゴ糖……20部
水……50部	水……40部
Bx. 50~60	Bx. 60~70

⑪上割あん	⑬最中あん
生あん…… 100部	生あん…… 100部
グラニュー糖……50部	グラニュー糖……90部
還元水アメ……30部	還元水アメ……45部
直鎖オリゴ糖……20部	ソルビトール……15部
水……40部	寒天……0.4部
Bx. 70~78	水……50部
	Bx. 70~78

おわりに

砂糖は、甘味料の傑作であり、万人に好まれるすぐれた甘味と、食品加工に及ぼす加工適正として(イ)保形性、(ロ)防腐性、(ハ)デンプンの老化抑制、(ニ)発酵性、(ホ)ゼリー形成などの性質があり、食品製造に欠くことのできない重要な素材である。しかし、時代の進歩につれ、砂糖だけの甘味料では目的とする機能を十分に発揮できないのも事実であり、表2に示した各種の甘味料がいろんな目的で組み合わせて利用されている。今後も各種甘味料の機能を十分に把握して、組み合わせて使用することが優れた食品をつくる重要な要素と思われる。

参考文献

- 1) 小田恒郎, 阿部公昭, 江口通, 笠原最季雄: 澱粉科学, **19**(3), 139 (1972)
- 2) 小田恒郎, 田中潔, 阿部公昭: 食品工業, **17**(12), 47 (1974)
- 3) 岡田茂孝: New Food Industry, **22**(8), 45(1980)
- 4) 阿部公昭, 園部勝: New Food Industry, **19**(1), 67 (1977)
- 5) 磯部信生: 食品工業, **24**(2), 44 (1981)
- 6) 小田恒郎, 磯部信生, 塩津晋: New Food Industry, **24**(5), 16 (1982)
- 7) 足立堯: ジャパンフードサイエンス, **22**(8), 71 (1983)

甘味料の機能と食品への利用

- 8) 鈴木一正, 中島良和: 食品工業, **26** (4下), 34 (1983)
- 9) 松田勉: 食品衛生研究, **33**(9), 856 (1983)
- 10) 塩津晋, 北川邦晴, 武井仁: 豆類加工技術研究会報, **3**(5), 22 (1979)
- 11) 井上陽一, 森内幸子, 細谷憲政: 栄養と食糧, **23**, 625 (1970)
- 12) 奥恒行, 井上陽一, 細谷憲政: 栄養と食糧, **24**, 399 (1971)
- 13) 奥恒行, 金順姫, 細谷憲政: 栄養と食糧, **34**(2), 145 (1981)
- 14) H. H. Rennhard, J. R. Bianchine: J. Agric. Food Chem., **24**(2), 287 (1976)
- 15) R. Lianloh, G. G. Birch, M. E. Coates: Br. J. Nutr., **48**, 477 (1982)
- 16) H. J. Zunft, J. Schulze, H. Gärtner, F. K. Grütte: Ann. Nutr. Metab., **27**, 470 (1983)
- 17) 須川洋子: 生化学, **37**, 337 (1965)
- 18) 池田正: 食の科学, **65**, 67 (1985)
- 19) 光岡知足: 臨床と細菌, **2**(3), 55 (1975)
- 20) F. Petuely: Zeitschrift für Kinderheilkunde, **79**, 174 (1957)
- 21) K. Hoffmann, et al.: Klin. Wochschr., **42**(3), 126 (1964)
- 22) K. Hoffmann, et al.: Disch. med. Wsch., **92**, 1431 (1967)
- 23) K. Hoffmann, et al.: Schweiz. med. Wsch. **99**, 608 (1969)
- 24) H. Ruttloff, et al.: Die Nahrung, **11**(1), 47(1967)
- 25) 平田美穂: 小児科臨床, **11**, 681 (1958)
- 26) 高居百合子, 今村美喜郎: 日本栄養食糧学会講演 (1982), 投稿中

新 刊 紹 介

鈴木 継美編著 「公衆栄養活動」

(A 5判 228 ページ 定価 2,000 円 光生館)

光生館で企画出版されている吉川春寿・細谷憲政編 栄養大学講座の第 8 巻として出版されたもので、全 14 巻のうち 5 冊目である。

公衆栄養という学問は管理栄養士のコースでは必修の学問であるが、その内容については、それぞれの著者によって考え方も違いがあるようである。

本書は公衆栄養活動と公衆衛生活動とを結びつけて考えられ、公衆衛生行政の中で働く栄養の専門家、あるいは栄養以外の専門家でも公衆衛生行政の中で働いている人々にも公衆栄養の知識を持ってほしいという新

しい観点で本書が書かれている。そのため広い範囲で公衆栄養をとらえられており興味ある本として一読をおすすめしたい。

内容は公衆栄養の考え方、対象集団の把握、基礎的な情報、食料獲得と供給および消費、食生活と食習慣、栄養素必要量と栄養所要量、栄養状態の判定、問題の発見とリスク・グループの同定、栄養計画の諸側面、栄養計画の実施・評価と栄養状態の監視の 9 章からなっている。

(元山)