リン酸化オリゴ糖の研究開発 —オーラルヘルスへの応用—

釜 阪 寛

(江崎グリコ株式会社 生物化学研究所)

Studies on phosphoryl oligosaccharides —Application for oral health—

Hiroshi Kamasaka

Biochemical Research Laboratory, Ezaki Glico Co., Ltd. 4-6-5 Utajima, Nishiyodogawa-ku,
Osaka, 555-8502

〒555-8502 大阪市西淀川区歌島 4-6-5

Some phosphate ester groups are known to link to glucosidic residues in starch molecule. We have prepared phosphoryl oligosaccharides (POs) from potato starch hydrolysates. POs were composed of two fractions, PO-1 and PO-2. The PO-1 fraction was the main fraction, and it was composed of maltotriose, maltotetraose, and maltopentaose to which one phosphoryl group was attached. The PO-2 fraction was predominantly composed of maltopentaose and maltohexaose to which at least two phosphoryl groups were attached. POs had the ability to form a soluble complex with calcium. Based on the function of the POs, we developed the POs of calcium (POs-Ca) for a food ingredient. POs-Ca was an advantageous food ingredient as a soluble calcium source and relatively high absorption in the intestinal tract. Relating to prevent of dental caries, POs cannot be fermented by cariogenic microorganisms, mutans streptococci, and reduces the plaque pH fall *in vitro* by mutans streptococci. Moreover, POs-Ca was effectively enhanced remineralization of early caries lesion. Although relatively higher pH in stimulated saliva is not suitable for Ca and phosphate (P) to be solubilized, POs-Ca would aid to maintain their solubility in oral environment. In results, the salivary Ca/P ratio can increase nearly up to the rate of hydroxyapatite (1.67) and enhanced enamel remineralization. Thereby, POs-Ca could be a beneficial material for oral health.

Abbreviations :

POs, phosphoryl oligosaccharides; POs-Ca, phosphoryl oligosaccharides of calcium; Ca, calcium; P, phosphate; 6³-phosphoryl maltotriose, O-6-phosphoryl- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-O- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucopyranose; 6²-phosphoryl maltotriose, O- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-O-6-phosphoryl- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucopyranose; 6³-phosphoryl maltotetraose, O- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-O-6-phosphoryl- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-O- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucopyranose; 6⁴-phosphoryl maltopentaose, O- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-O-6-phosphoryl- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-O- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-O- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucopyranose; 3³-phosphoryl maltotetraose, O- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-O-3-phosphoryl- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-O- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucopyranose; 3⁴-phos-

phoryl maltopentaose, O- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-O-3-phosphoryl- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-O- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-O- α -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucopyranose.

1. 馬鈴薯澱粉から調製した新成分「POs-Ca」

澱粉はグルコースが α -1,4グルコシド結合の直鎖で繋がったアミロースと α -1,6グルコシド結合の分岐をもったアミロペクチンからなる。そして、アミロペクチンの組成にはリン酸基がグルコースにエステル結合している。特に、地下茎に蓄えられる澱粉にその含量は高く、中でも馬鈴薯中の含量は高いことが知られている^{1)~3)}。およそ100~1000ppmのリン酸エステル基を含んでいる。私たちは、この馬鈴薯澱粉中のリン酸エステル基に注目し、澱粉の酵素加水分解物から全く新しいオリゴ糖、すなわちリン酸化オリゴ糖を調製することに成功した⁴⁾。つまり、馬鈴薯澱粉に液化型 α -アミラーゼ、グルコアミラーゼ、およびプルラーゼを作用させた。グルコース残基に結合したリン酸基によって、これらアミラーゼの作用は妨げられ、リン酸化オリゴ糖が未消化成分として得られた。このリン酸化オリゴ糖は2つの画分PO-1画分およびPO-2画分から構成されていた。PO-1画分は、炭素原子の3位にリン酸基の結合したオリゴ糖(3³-phosphoryl maltotetraose および 3⁴-phosphoryl maltopentaose)ならびに炭素原子の6位にリン酸基の結合したオリゴ糖(6³-phosphoryl maltotriose, 6²-phosphoryl maltotriose, 6³-phosphoryl maltotetraose, および 6⁴-phosphoryl maltopentaose)から構成されており、分子内に1個のリン酸基を有していた⁵⁾。PO-2画分は主にマルトペンタオースおよびマルトヘキサオースから構成

されており、少なくとも2個のリン酸基を分子内に有していた⁶⁾。図1に主成分の構造を示した。また、リン酸化オリゴ糖のリン酸基はカルシウム、マグネシウム、鉄などの陽イオンと結合しやすい特性を有していた。特にカルシウムと結合しやすく、カルシウム-リン酸の不溶化を防いで可溶化を促した⁴⁾。特にリン酸化オリゴ糖をカルシウム塩(POs-CaTM; phosphoryl oligosaccharides of calcium)として調製した場合、このPOs-CaTMは水溶性の極めて高いカルシウム素材となった。一般的なカルシウム強化剤として食品に利用されているリン酸1水素カルシウムや炭酸カルシウムは、室温で0.5%以下でしか水に溶解しないが、POs-Caは70%以上も溶解する特徴を有していた。

カルシウムは厚生労働省の調査結果によれば、現在でもその所要量に達していない唯一の栄養素である。カルシウムは不溶化しやすく、腸管での吸収が悪いため、所要量が600mg以上/日と高く設定されている(第六次改定「日本人の栄養所要量」による)。POs-Caの腸管での吸収性を不溶性のカルシウム素材(リン酸1水素カルシウム、炭酸カルシウム)と比べた結果、有意に高い値を示した⁷⁾。次に、POs-CaTMのオーラルヘルスへの応用について紹介する。

2. う蝕の現状

人類におけるむし歯の歴史を化石人頭骨から調べると興味深い事実がわかってくる。つまり、狩猟・採集生活

図1 リン酸化オリゴ糖の主な構造

から農耕生活への移行を契機に1%以下から10%近くへう蝕率が急増している。肉食からデンプン食への主食の移行が原因と考えられる⁸⁾。そして、近代以降、砂糖の摂取量とう蝕の増加が同じように増加した事実は有名であり、平成11年の調査結果ではう蝕率が46%以上にまで達してきている。つまり、う蝕は文明の進歩がもたらした食生活の豊かさを象徴する疾患の一つなのである。う蝕の発症は細菌の歯面への付着、バイオフィルムの形成、そして、細菌の代謝産物である有機酸による脱灰というプロセスを経て進行する疾患であり、歯周病に並んでヒトが歯を失う二大要因として知られている。しかし、近年、このような細菌性のう蝕に対して、酸性飲料の過剰摂取による直接的な脱灰が原因と考えられるう蝕も増えてきている。このようにう蝕は食生活などの生活習慣が大きく関わる疾患なのである。

近年、キシリトール、マルチトールなどの代用甘味料の食品への利用が進み、「むし歯の原因となる酸をつくらぬ食品」や「むし歯になりにくい食品」として、日本トウモロコシ協会「歯に信頼」マーク（傘マーク）や厚生労働省の特定保健用食品などによって、新しいう蝕予防のあり方が提案されてきた^{8),9)}。その背景には、厚生労働省が平成12年3月に発表した「21世紀における国民健康づくり運動（健康日本21）」がある。人生の中で健康で障害のない期間、いわゆる健康寿命の延伸を目指して、生活習慣病及びその原因となる生活習慣等の重点課題を選定して、2010年までに達成する具体的な数値目標が根拠に基づいて設定された。その重点課題の一つに歯の健康が選定されている。全身の健康にも影響するう蝕や歯周病への本格的な予防対策が開始された¹⁰⁾。

3. 脱灰と再石灰化

一般的に言われる「むし歯」であるう蝕には「初期う蝕」と「う窩形成う蝕」と呼ばれる2種類がある。「う窩形成う蝕」は歯の表面に穴があいた実質の欠損を伴った状態であり、治療の対象となる。しかし、「初期う蝕」は視覚的には主に表層化脱灰の状態の実質の欠損のないう蝕を指し、健全な歯に戻る可能性のある状態を言う。歯科ではCO（シーオー）と診察され、削って詰める治療の対象ではない。毎日の食事や間食により、歯の表面にはミュータンスレンサ球菌などのう蝕原性細菌によって、プラーク（歯垢）が形成される。プラーク内では食事のたびに有機酸が産生されてpHが低下する。このpHの低下によって歯のエナメル質からカルシウムとリン酸が失われてう蝕が始まり、「初期う蝕」の状態が生じる。この健全な歯からカルシウムとリン酸が失われることを「脱灰」と言う。逆に「再石灰化」とは初期う蝕の患部にカルシウムとリン酸が再沈着して歯の結晶が再合成されることである。通常の口腔内では、唾液が再石

図2 脱灰・再石灰化サイクル

灰化の機能の主体である。このような脱灰・再石灰化のサイクルは日常的に口の中で繰り返されている(図2)^{11),12)}。また、歯はヒドロキシアパタイトと呼ばれるリン酸カルシウムの結晶体からできており、CaとPが97%以上から構成されている。組織学的にはエナメル質、象牙質、セメント質の3種の硬組織と歯髄から構成されており、特にエナメル質は無構造の無機質からなる表層エナメル質と、小柱構造を有し多少の有機成分を含む表層下エナメル質からなる。脱灰現象はこの表層下エナメル質が脱灰されて生じる。

4. オーラルケア素材としての「POs-Ca」

リン酸化オリゴ糖は糖質であるが、グルコースやショ糖のようにう蝕原性細菌であるミュータンスレンサ球菌の栄養源にならず、ショ糖の発酵によるプラーク下pHの低下をリン酸基の有する緩衝作用によって抑制した¹³⁾。また、ショ糖およびミュータンスレンサ球菌の存在下における人工口腔装置での試験の結果、リン酸化オリゴ糖は人工プラーク（非水溶性グルカン）の形成およびエナメル質の脱灰を抑制する効果が認められた¹⁴⁾。次に、POs-Caを用いてエナメル質の再石灰化効果を*in vitro*で調べた結果、低濃度でも高い効果が観察された¹⁵⁾。再石灰化度の評価はエナメル歯片のマイクロラジオグラフを撮影し、脱灰深度ld（ μm ）、ミネラル喪失量 ΔZ （vol%・ μm ）を計測するう蝕学分野の国際的な標準法^{16)~18)}に従った。本方法は、Transversal Microradiography（TMR）と呼ばれ、評価部位表面に直交する断面方向（transversal）に平行切片を切出して、歯のミネラル濃度が定量評価できるよう最適化した条件下でのマイクロラジオグラフを撮影に特化したContact Microradiography（CMR）法の一つである。また、近年、脱灰部の散乱光を画像として取り込み、画像処理して定量化するQLF（Qualitative Light-Induced Fluorescence）法が開発され、非破壊検査法として利用され出している¹⁹⁾。

5. 「POs-Ca」のガムへの利用

口腔内における再石灰化は唾液の機能に負うところが

大きい。そこで、ガム咀嚼時に分泌される唾液を採取して、唾液に溶けている無機リン酸 (P) とカルシウム (Ca) の含量を調べた。結果、刺激唾液中の P 含量に比べて、Ca 含量は比較的少ないことが解った。つまり、一般的な成人の平均値として Ca/P 濃度比が 0.3 以下の値であった²⁰⁾。一方、エナメル質を構成するハイドロキシアパタイト結晶の Ca/P 構成比は 1.67 という高値である。そこで、効果的な再石灰化のためには、唾液中の Ca/P 濃度比を 1.67 値に近づけることが重要であると考え、唾液へ溶性カルシウムを補う目的で、POs-Ca をガムに利用した。

このように設計したタブレットタイプ (1.5g/粒) の 2.5% POs-Ca 配合キシリトールガム (キシリトール; 46%) を用いて、飲食後の酸性に傾いたヒト歯垢下 pH 値の回復モデル試験をヒト歯垢下電極内蔵法²¹⁾により行った。10% の砂糖溶液による 2 分間の洗口によって急激に低下したプラーク下 pH はガムの咀嚼によって急上昇することが確認できた²²⁾。ヒトのプラーク下では飲食後の度に酸が生じ、pH が低下し、脱灰が進行する。飲食後の pH を中性に回復させることが健康な歯を維持するための第一条件である。しかし、飲食の内容によっては、これらの機能が十分に発揮されない場合もあり、ブラッシングなどと組み合わせた効果的なオーラルケアを個々人で心がけることが重要である。

6. 再石灰化効果の検証

6-1 唾液浸漬法

初期う蝕への再石灰化効果の検証は 2 種の方法で実施した。はじめにヒト唾液浸漬法 (HSI 法)^{20), 23)}を実施した。本方法はヒト口腔内試験と比較して、試験条件をコントロールし易く、安価であり、かつ、被験者の負担も軽いと考えられた。ガム咀嚼中のヒト唾液を 12 人の健全な被験者から全て集めた。ガムは、POs-Ca 配合キシリトールガム (コントロール: POs-Ca (-) ガム)、あるいは、2.5% POs-Ca 配合キシリトールガム (POs-Ca (+) ガム) を用いた。被験者には 2 粒のガムを 20 分間咀嚼してもらい、噛み始め 10 分間の唾液 (Fs) と後半 10 分間の唾液 (Ls) を分けて全て採取した。予め 0.1M 乳酸ゲルで脱灰したウシエナメル歯片 (6 枚一組) を Fs に 10 分間、続いて、Ls に 10 分間 37℃ で浸漬した。浸漬後直ぐに脱イオン水で歯を洗浄した。この操作を 1 日に 4 回、4 日間実施した。処理終了後、エナメル歯片のマイクロラジオグラフを撮影し、脱灰深度 Id (μm) とミネラル喪失量 ΔZ ($\text{vol}\% \cdot \mu\text{m}$) を計測した。その結果、両パラメーターにおいて、POs-Ca (+) ガム

表 1 ガム咀嚼分泌唾液量、唾液 pH、唾液中 Ca 及び P 含量

	POs-Ca	Fs		Ls		Pb
		Means $\pm$ SD	Pa	Means $\pm$ SD	Pa	
Salivary volume (mL)	+	20.34 $\pm$ 4.13	ns	9.35 $\pm$ 3.24	ns	**
	-	20.74 $\pm$ 4.43		9.65 $\pm$ 3.35		**
Ca (mM)	+	6.29 $\pm$ 2.44	**	1.72 $\pm$ 0.27	*	**
	-	1.69 $\pm$ 0.41		1.39 $\pm$ 0.37		ns
P (mM)	+	5.62 $\pm$ 1.41	ns	6.22 $\pm$ 1.31	ns	ns
	-	6.15 $\pm$ 1.35		6.49 $\pm$ 1.15		ns
Ca/P	+	1.12 $\pm$ 0.31	**	0.27 $\pm$ 0.05	*	**
	-	0.28 $\pm$ 0.08		0.22 $\pm$ 0.05		ns

被験者 12 名 (男性 6 名、女性 6 名; 平均年齢 30 歳) に 2 種のガム (POs-Ca (+); POs-Ca 配合キシリトールガム, POs-Ca (-); POs-Ca 非配合キシリトールガム) を各 2 粒、20 分間噛んだ際の唾液を採取した。唾液はガム噛みはじめ 10 分間 (Fs) と 10 分以降 20 分 (Ls) までの 2 種に分けて分取した。

a: POs-Ca (+), POs-Ca (-) の間の有意差検定, b: Fs と Ls 間の有意差検定, ns: 有意差なし, ** $p < 0.0001$, * $p < 0.05$ 。

群に浸漬した脱灰歯は POs-Ca (-) ガム群の脱灰歯に比べて有意に ($p < 0.01$) 再石灰化が進んでいた (図 3)²³⁾。採取した唾液は、その分泌量およびミネラル含量も測定した (表 1)。POs-Ca (+) ガム群と POs-Ca (-) ガム群の分泌唾液量およびリン酸含量は殆ど同じであった。唾液量は Fs 唾液が Ls 唾液の約 2 倍であった。リン酸含量には時間的な違いはなく、一定量分泌されていた。Fs 唾液のカルシウム濃度は POs-Ca (+) ガム群において、POs-Ca (-) ガム群より有意に ($p < 0.001$) 高かった。この結果、POs-Ca (+) ガム群の Ca/P 濃度比は POs-Ca (-) ガム群に比べ約 4 倍程度高い値であった。特に Ca/P 濃度比を経時的に採取して調べた結果、

図 3 ヒト唾液浸漬法での POs-Ca 配合ガムの再石灰化効果の検証

被験者 12 名 (男性 6 名、女性 6 名; 平均年齢 30 歳) に 2 種のガム (POs-Ca (+); POs-Ca 配合キシリトールガム, POs-Ca (-); POs-Ca 非配合キシリトールガム) を各 2 粒、20 分間噛んだ際の唾液を採取した。唾液はガム噛みはじめ 10 分間と 10 分以降 20 分までの 2 種に分けて分取した。採取唾液に予め脱灰処理したエナメル質を 20 分間 $\times$ 4 回浸漬処理した。本処理を新しく採取した唾液を用いて 4 日間行った。試験終了後、エナメル質表層のミネラル濃度を TMR 法で評価した。

有意差検定 * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ 。

図4 ガム咀嚼時の唾液中Ca/P濃度比の変化

POs-Ca (+) ガム (□) POs-Ca (-) ガム (◇) 咀嚼時の分泌唾液を採取し、カルシウムおよびリン酸濃度を測定し、Ca/P濃度 (mM/mM) 比を求めた。有意差検定 * $p < 0.0001$ 。

図5 ヒト口腔内試験でのPOs-Ca配合ガムの再石灰化効果の検証

被験者12名(男性6名,女性6名;平均年齢21歳)に3種のガム(POs-Ca (+); POs-Ca 配合キシリトールガム, POs-Ca (-); POs-Ca 非配合キシリトールガム, Sucrose; スクロース配合ガム)を各2粒, 20分間, 4回/日, 2週間摂取する試験を二重盲検のクロスオーバーで行った。ガム咀嚼時には予め脱灰処理したエナメル質を包埋したオーラルデバイスを口腔内に装着した。試験終了後,エナメル質表層のミネラル濃度をTMR法で評価した。

有意差検定 * $p < 0.05\%$, ** $p < 0.01\%$ 。

噛みはじめの10分間においてPOs-Ca (+) ガム群が有意に高い値を示した(図4)。この結果、カルシウムの殆どが噛み始め10分間に溶出していると考えられた。一方、両方のガムにおいて、唾液のpHはガム咀嚼始め約7.0から6分以内に約7.5まで上昇し、咀嚼中、7.5付近で推移した。以上の結果は、POs-Ca (+) ガム群において高い再石灰化効果が認められた原因は、刺激唾液の高pH環境下で、唾液中のカルシウムイオン含量を増加させ、Ca/P濃度比を歯のエナメル質成分であるハイドロキシアパタイト比(1.67)に向けて上昇させた結果と推察された。

6-2 ヒト口腔内試験

次に、ヒト口腔内での効能試験も実施した^{24), 25)}。12名のボランティア(男性6名,女性6名;平均年齢21歳)により二重盲検、クロスオーバーデザインの口腔内実験を実施した。各被験者には初期う蝕を形成したウシ歯エナメル質ディスクを取り付けたプレートを口腔内に装着してもらい、先と同様のPOs-Ca (+) ガム, POs-Ca (-) ガム, および62%ショ糖配合ガムのいずれかを、

1日4回(毎食後と就寝前)噛んでもらった。期間は各ガムとも2週間とし、最終的には全被験者がすべてのガムでの試験を完了した。結果、POs-Ca (+) ガム群の脱灰深度1d(初期う蝕の深さ, μm)はショ糖配合ガムよりも51%, またPOs-Ca (-) ガムよりも44%, それぞれ有意に減少していた。また、POs-Ca (+) ガム群のミネラル喪失量 ΔZ ($\text{vol}\% \cdot \mu\text{m}$)も、ショ糖配合ガムよりも30%, POs-Ca (-) ガムより25%減少しており、POs-Ca (+) ガムは高い再石灰化効果が確認された(図5)²⁵⁾。

以上のように、POs-Ca 配合ガムはHSI試験法でもヒト口腔内試験でも高い再石灰化促進効果を示した。先にも述べたように、被験者の負担、試験条件を適切にコントロールできる点および採取唾液の分析が可能である点などを考慮すると、HSI試験法は簡便・迅速に再石灰化効果を評価できる系として利点があると考えられた。以上の試験結果を中心に、POs-Caを関与成分とするPOs-Ca 配合キシリトールガム「ポスカムTM」は2003年に特定保健用食品の表示許可を取得した(表2)。

表2 特定保健用食品の許可表示内容

関与成分	リン酸化オリゴ糖カルシウム (POs-Ca)
許可を受けた表示の内容	本品は、リン酸化オリゴ糖カルシウム (POs-Ca) を配合しているので、口内を歯が再石灰化しやすい環境に整え、歯を丈夫で健康にします。
一日当たりの摂取目安量	1回に2粒(または1枚)を20分噛み、1日4回を目安にお召し上がり下さい。
摂取をする上での注意事項	一度に多量に食べると、体質によりお腹がゆるくなる場合があります。

図6 POs-Ca 配合ガムの再石灰化促進メカニズム

6-3 POs-Ca 配合キシリトールガムの再石灰化促進メカニズム

ガム咀嚼開始後5分以内に、弱アルカリ性のpH領域まで上昇した。これは飲食後の脱灰を防ぎ、再石灰化を促進させるために重要な環境変化である。次に、刺激唾液中のリン酸イオン(P)は豊富であるのに対して、カルシウムイオン(Ca)は比較的少ないため、Ca/P濃度比が約0.3と、歯の主成分であるハイドロキシアパタイト(Ca/P濃度比=1.67)と格段に低いことなどが判明した。これに対して、POs-Ca配合ガムでは、水溶性の高いPOs-Caによりカルシウムイオンが豊富に供給されるため、高Ca/P濃度比を噛みはじめ10分以内は示すことが確認された。弱アルカリへのpH上昇は再石灰化を促進するが、一方で、カルシウムの可溶性が低下するため、材料となるカルシウムイオンが不足しがちとなる。しかし、POs-Caの高い可溶性でこの問題が解決された。すなわち、POs-Ca配合ガムは、①唾液の分泌促進とプラーク下pH値の上昇、②Caイオンの供給によるCa/P濃度比の上昇、という、再石灰化のための口内環境を好適に整えたことが高い再石灰化を示した原因と考えられた(図6)²³⁾²⁴⁾²⁶⁾。

7. ま と め

本稿では、馬鈴薯澱粉より調製したPOs-Caが水溶性および吸収性に優れたカルシウム素材であることと、POs-Ca配合ガムが優れた歯の再石灰化効果を示すことを中心にオーラルケアへの応用例を紹介した。つまり、骨や歯は共にカルシウムとリン酸から構成されており、高齢化社会における健康寿命の延伸のためには、健康な骨と歯の維持が大変重要であることに間違いはない。一方、チューインガムは、単純に唾液を長時間分泌させ続けられる食品として他に類を見ない。個人差は大きい、10分間の咀嚼で約20mL、20分間では約30mLへと増加した。pH緩衝作用、洗浄作用、および再石灰化能以外にも多彩な唾液の口腔保全機能²⁷⁾を考えた場合、口腔内

が唾液に満たされていることが望ましいと考える。さらに、近年、柔らかい食品が好まれ、咀嚼回数が激減してきている。噛む力は摂食能力だけでなく、運動能力などにも大きな影響を及ぼしていることが解っている。また、健康な歯が20本以下になると咀嚼能力が急激に低下するため、高齢になっても20本以上の健康な歯を残すことが重要なのである¹⁰⁾。今後、POs-Caをガム以外にも多彩な商品へ応用してゆき、これらの研究成果を広く人々のクオリティーオブライフ(QOL)の維持向上に役立ててゆきたい。

文 献

- 1) Y. Takeda and S. Hizukuri : Location of phosphate groups in potato amylopectin. *Carbohydr. Res.*, **102**, 321-327 (1982)
- 2) S. Hizukuri : Carbohydrates in Food (A.C. Eliasson, ed.), pp 375-379, New York, Marcel Dekker, Inc. (1996)
- 3) 檜作 進 : 澱粉分子の微細構造の解明をめざして, 澱粉科学, **40**, 133-147 (1993)
- 4) H. Kamasaka, M. Uchida, K. Kusaka, K. Yamamoto, K. Yoshikawa, S. Okada, and T. Ichikawa : Inhibitory effect of phosphorylated oligosaccharides prepared from potato starch on the formation of calcium phosphate. *Biosci. Biotech. Biochem.* **59**, 1412-1416 (1995).
- 5) H. Kamasaka, K. To-o, K. Kusaka, T. Kuriki, T. Kometsani, H. Hayashi, and S. Okada : The structures of phosphoryl oligosaccharides prepared from potato starch. *Biosci. Biotech. Biochem.* **61**, 238-244 (1997).
- 6) H. Kamasaka, K. To-o, K. Kusaka, T. Kuriki, T. Kometsani, and S. Okada : A way of enhancing the inhibitory effect of phosphoryl oligosaccharides on the formation of calcium phosphate precipitate by using the coupling reaction of cyclomaltodextrin glucanotransferase. *J. Appl. Glycosci.* **44**, 285-293 (1997).
- 7) K. To-o, H. Kamasaka, T. Nishimura, T. Kuriki, S. Saeki, and N. Nakabou : Absorbability of calcium from calcium-bound phosphoryl oligosaccharides in comparison with that from various calcium compounds in the rat ligated jejunum loop. *Biosci. Biotech. Biochem.* **67**, 1713-1718 (2003).
- 8) 西澤俊樹 : 代用甘味剤による実践的う蝕予防 基本概念

- とその戦略, FOOD Style 21, 1 (6), 50-55 (1997) .
- 9) 今井奨 : う蝕予防と非う蝕性甘味料および抗う蝕性素材の機能効果, ジャパンフードサイエンス, 40 (12), 45-51 (2001) .
 - 10) 江藤一洋編 : 歯の健康学, 岩波新書, (2004) .
 - 11) 飯島洋一, 熊谷 崇 : カロイエスコントロール, 医歯薬出版 (1999)
 - 12) O.H. Norman, G.C. Arden : PRIMARY PREVENTIVE DENTISTRY 4th Edition, APPLETON&LANG (1999).
 - 13) H. Kamasaka, S. Imai, T. Nishimura, T. Kuriki, and T. Nishizawa : Effect of phosphoryl oligosaccharides from potato starch on acid fermentation by mutans streptococci. *J. Dent. Hlth.* 52, 66-71 (2002).
 - 14) S. Imai, H. Kamasaka, D. Inaba, T. Nishizawa and N. Hanada: Inhibitory Effect of Phosphoryl Oligosaccharides against Enamel Demineralization by Mutans Streptococci. *J. Dent. Res.*, 81, A351 (2002).
 - 15) D. Inaba, K. Minami, H. Kamasaka, and M. Yonemitsu : Effects of phosphoryl-oligosaccharide on remineralization of enamel lesions in vitro. *Dent. Soc. Iwate Med. Univ.* 27, 197-202 (2002).
 - 16) D. Inaba, O. Takagi, and J. Arends : A computer-assisted videodensitometric method to visualize mineral distributions in in vitro and in vivo formed root caries lesions. *Eur. J. Oral Sci.* 105, 74-84 (1997).
 - 17) J. D. B. Featherstone : Consensus conference on intra-oral models: evaluation techniques. *J. Dent. Res.* 71, 955-956 (1992).
 - 18) 高江洲義矩監修, 中垣晴男, 眞木吉信編集 : ガイドブック フッ化物臨床応用のサイエンス, 永末書店, 79-81 (2002).
 - 19) 神原正樹 : QLF によるう蝕診断, 細胞, 37, 84 (2005)
 - 20) H. Kamasaka, D. Inaba, K. Minami, T. Nishimura, T. Kuriki, S. Imai, and M. Yonemitsu : Remineralization of Enamel by Phosphoryl-Oligosaccharides (POs) Supplied by Chewing Gum. Part I. Salivary Assessment in vitro. *J. Dent. Hlth.* 52, 105-111 (2002).
 - 21) S. Takahashi-Abbe, K. Abbe, N. Takahashi, Y. Tamazawa, and T. Yamada : Inhibitory effect of sorbitol on sugar metabolism of Streptococcus mutans in vitro and on acid production in dental plaque in vivo. *Oral Microbiol. Immunol.* 16, 94-99 (2001).
 - 22) 阿部昌子, 玉澤佳純, 阿部一彦*, 高橋信博 : 東北大学大学院歯学研究科 (*東北福祉大学) 研究報告書 (2001)。
 - 23) H. Kamasaka, D. Inaba, K. Minami, T. Nishimura, K. To-o, T. Kuriki, S. Imai, N. Hanada, and M. Yonemitsu : Application of Phosphoryl Oligosaccharides of Calcium (POs-Ca) for Oral Health. *J. Appl. Glycosci.* 51, 129-134 (2004).
 - 24) D. Inaba, H. Kamasaka, K. Minami, T. Nishimura, T. Kuriki, S. Imai, and M. Yonemitsu : Remineralization of enamel by phosphoryl-oligosaccharides (POs) supplied by a chewing gum. Part II. Intraoral evaluation. *J. Dent. Hlth.* 52, 112-118 (2002).
 - 25) D. Inaba, K. Minami, H. Kamasaka, S. Imai, and M. Yonemitsu : Intraoral effects of phosphoryl-oligosaccharides calcium on remineralization on enamel lesion. *J. Dent. Hlth.* 53, 8-12 (2003).
 - 26) H. Kamasaka, D. Inaba, K. Minami, T. Nishimura, T. Kuriki, and M. Yonemitsu : Production and Application of Phosphoryl Oligosaccharides Prepared from Potato Starch. *Trends Glycosci. Glycosci.* 15, 75-89 (2003).
 - 27) 石川達也, 高江洲義矩監訳 : 唾液の科学, 一世出版 (1998)

本稿は, 第33回大会における主題講演をまとめたものである。