

「口当たりと歯応えを見てみよう！（食感の見える化）」

明治大学農学部 准教授 農学博士

中村 卓先生



① 食品に必要な3つのキーワード

皆さんこんにちは、中村と申します。よろしくお願ひ致します。出来るだけ楽しくお話が出来ればと思っております。途中グミキャンディの話や、サンプルも用意して、皆さんに触ったり食べたりできるようにしていますので、お楽しみください。

さて、食品について安全・健康・おいしさという3つのキーワードから理解すると分かりやすいと思います。



安全で言いますと今放射線のことが非常に話題になっています。安全というのはゼロリスク、すなわちリスクを全くなくしてしまうことではありません。100%安全というのは世の中に無いのです。食べ物でもそうです。良いからと食べ過ぎると栄養素が偏り、逆に色々なリスク、危険なことが生じてきます。それから放射線についても元々ゼロではありません。宇宙からも飛んできますし、土の中にも放射性物質があります。ゼロではないというところでのリスクというのは、非常に難しいのです。ほんの少しだけあるというリスクを考

えるということは、非常に難しい問題だと思ひますが、今回のことは自然にあるわけではなく事故もしくは事件なので、別の問題かも知れませんが、ゼロというものは無いということは、安全面では重要だと思ひます。

次に健康の話ですが、医食同源という考え方でこのマークを皆さん見たことがあるでしょうか？消費者庁許可で、特定保健用食品と言うものがあります。これは元々私がいる農芸化学分野で、食品は単に栄養素というだけでなく、体の機能を整える医食同源で予防という効果があるものだというところから、1985年に農芸化学の分野から始まったものです。

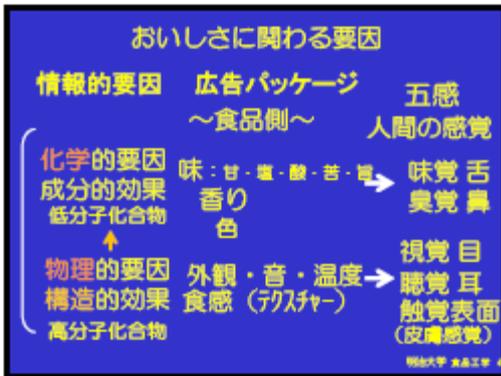
② おいしさに関わる要因



おいしさという話ですが、これは私が今中心に研究している分野のひとつです。おいしさというのは食品ですから、おいしくなければ薬・サプリメントを食べていけば良いという訳にはいきません。おいしいということは非常に重要と考えています。おいしさに関わる要因を考えた時に色々あります。例えば横須賀海軍カレーという商品がありますが、これを見て横須賀というのは海軍の基地が最初にありカレーも最初に発祥した地というような社会的な文化的なものがありますと、横須賀に行ってカレーを食べたら何かおいしいと思ひたりします。それから心理

的要因としては、家族で行ったり、恋人で行ったり、お孫さんで行ったりすると楽しい、楽しいとおいしいといったこともあります。それから生理的要因としては、朝ごはん抜きで外出をして外出先で昼食を食べたら、お腹が空いているので更においしく感じるかも知れませんが、そのように人間側から見たおいしさの要因というのが、色々あるかと思ひます。こういったものを今、感性工学という言葉がありますが、人間の心理と化学技術の融合で脳の情報処理の面からこういったものを追及して行こうという学問が 21 世紀になっ

てから非常に注目されております。



食品側から見ますと、おいしさというのは、化学的な要因のものがあります。これは“味”です。甘い・塩辛い・すっぱい・苦い・うま味の5味と呼ばれる味や香り、色があります。こういったものは、低分子化合物と呼ばれます。例えば、塩がどれだけ入っているからしょっぱい、砂糖がどれだけ入っているから甘いというように、量的な関係で決まってきます。味は舌の上に認識するセンサーが付いています。舌に塩や砂糖がくると「しょっぱい」「甘い」という刺激を脳に送ります。物質として物とセンサーが脳にいくという量的な関係が成立している訳です。

それに対して、物理的な味と呼ばれるものがあります。物理的な味というのは構造的効果と呼ばれるもので、成分がどれだけ入っているかではなくて、どのような構造をしているかということです。これは舌の上に一対一で反応するセンサーがついているとはちょっと違います。食感覚、触覚表面で皮膚感覚と呼ばれる感覚が人間の方で反応します。それこそが人間が食べた時の感覚が食感という分野の定義になります。

③ おいしい感覚と言葉

食感とは英語でテクスチャーと言いますが、この字というのは実は最近よく使われるようになりました。1990年代にパソコンやワープロがありました。“しょっかん”と入力すると触る触感が変換に出てきて、食べる食感というのは辞書登録しないと出てきませんでした。この食感というのは 1960年代に学術用語としてテクスチャーという考え方が出た時に使われ始めた言葉で、まだ世の中には使われてなかったのです。それがテレビのCM、グルメレポートでこの食感という漢字がテロップで出ます。それで一般化した言葉になりました。例えば中学校の国語

の教科書(2002年三省堂)に食感のオノマトペ(擬音語、擬態語のこと)「もちもち」「つつる」などの表現をするものがオノマトペと言います。食感のオノマトペが中学の教科書に載ったというのはどういうことかと言いますと、一般にこの言葉が認知されると位置づけられます。食感、英語ではテクスチャーとはどういう意味かと言いますと、ラテン語の *texo*(テキソ)、本来は織物の風合い、触ったときの感覚をテクスチャーと言っていました。それ以外にも絵や詩のなんとなくというニアンス的なものもテクスチャーと表現しております。そういったものを実際食品として食べた時の物理的な感覚ということもテクスチャーではないかということが 1960年代に研究が始まった分野であります。よく分からないが力と何か押したときに形が変わるといった感覚のこと、口の中に物を入れたときに噛む、力がかかる、変形する、口の中で流れる、そう入った感覚のことをテクスチャーと言います。

おいしい感覚と言葉 食感の世代
大橋+シズル研究会2010年3月 言葉：味覚系・食感系・情報系

順位	2003.08	2004.12	2006.05	2007.05	2008.5	2009.5
1	コクがある	ジューシー	ジューシー	ジューシー	もちもち	ジューシー
2	ジューシー	コクがある	コクがある	もちもち	ジューシー	もちもち
3	うまみのある	うまみのある	もちもち	コクがある	もちり	うまみのある
4	香ばしい	香ばしい	香ばしい	とろける	うまみのある	コクがある
5	コシのある	とろける	うまみのある	サクサク	香ばしい	もちり
6	とろける	味わい深い	とろける	香ばしい	とろける	香ばしい
7	深みのある	ホクホク	サクサク	ホクホク	コクがある	とろける
8	新鮮な	深みのある	コシのある	もちり	サクサク	焼きたて
9	味わい深い	サクサク	もちり	季節限定	季節限定	サクサク
10	美味	コシのある	風味豊かな	サクッと	ホクホク	風味豊かな

Sizzle:肉がジュージュー焼ける
飲食の欲求を作り出す情報

ではおいしさとテクスチャーとの関係はどうなっているかと言いますと、「おいしい感覚と言葉」という食感の世代という本が出ています。これは、“シズル”=肉がジュージュー焼ける音の研究会というところが出している本です。言葉として味覚系の言葉、食感系の言葉、情報系の言葉についておいしいを感じる言葉とはどんな言葉ですかと、インターネットで 2000 人位に聞いたアンケート調査です。2003 年から定点観測といいまして毎年同じ様な調査を続けています。ここで一部紹介させていただきます。2003年が一番おいしいと感じる言葉は、

「コクがある」です。コクといのは、味覚系ですね。「コクがある」「うまみのある」「香ばしい」など味覚系の言葉に対して最近上位にきた言葉は、先程話にも出てきた、「もちもち」という言葉です。実は「もちもち」という言葉は今普通に使っていますが、2004年まではベストテンにも入ってこない言葉だったので。もちもち食感というCMやパンなどで使われるようになってから、おいしいを感じる言葉の上位になってきました。変わってコクはと言いますと、だんだん下がって来ています。おいしいと感じる言葉は、味で表現するのではなく食感で表現するようになってきています。

表現する言葉として日本語は非常に特徴があることが明らかになっています。どういうことかと言いますと、実は日本語で食感系に使われる言葉は445語と非常に多いです。フランス語が226語、中国語は144語、ドイツ語が105語、英語が77語、フィンランド語が71語です。英語と日本語を比べると全然違うということが分かります。その特徴とし7割が、オノマトペ（擬音語・擬態語）と言われています。その他に粘り気の表現の「ネバネバ」「ネチャネチャ」や弾力の表現の「プリプリ」「プルプル」といった言葉も非常に多く使われています。日本語のもう一つの特徴は、数が多いと言う事だけではなく、粘り気の表現が70個、弾力の表現63個もあります。つまり粘り気の表現だけで、英語77に匹敵する数が使われています。粘りと弾力は日本語の特徴としてあるということです。

さてその使われ方ですが、1970年代、今から40年位前ですが、同じような調査が行われています。その時

食感の日本語の特徴 2003年調査
早川ら

- 445語と多い 内7割が擬音語・擬態語
 - フランス語226語 中国語144語 ドイツ語105語 英語77語 フィンランド語71語
- 粘り気の表現 70語
 - 「ねばねば」「ねっとり」「にちゃにちゃ」
- 弾力の表現 63語
 - 「ぷりぷり」「ぶるぶる」「ぶるん」

早川 食感研究ニュース No.19(2007) p2-3

も400個位の言葉が食感に使われると言っていました。実は昔使われていたけれど、今回の調査では出てこなかった言葉の中に、「ニュチャニュチャ」があります。それに対して1970年代には使われなかった言葉に、「もちもち」があります。1970年代では食感の言葉としては使われていなかったというアンケート調査が出ています。このように言葉の表現というのは年と共に、時代と共にどんどんと移り変わって行くものです。ではどういうことかと言いますと、食べた時の感じとしては、無茶

苦茶に変わってないと思います。言葉の表現だけが大きく変わる時代の流れというものがあるのではないかと思います。

④ 感覚の種類とセンサー

	感覚器(受容器)	刺激	感覚の質	
特殊感覚	視覚	眼(網膜)	光	色・明るさ・等
	聴覚	耳(内耳蝸牛)	音	音の強さ・音色・等
	味覚	舌(味蕾)	化学物質	甘い・苦い・等
	臭覚	鼻(嗅粘膜)	化学物質	臭・香・等
体性感覚	皮膚感覚	皮膚(温度受容器) (機械受容器)	温度刺激 機械刺激	熱・冷・等 痛み・等
	深部感覚	関節・腱・筋・等	機械刺激	身体の動き・等
内臓感覚	心臓・胃・腸・等	機械刺激 化学刺激	心臓の拍動等 社会気・緊張・等	

早川 食感研究ニュース No.19(2007) p2-3

次に人間の皮膚感覚とはどういうものか少し説明致します。感覚の種類としては、味や匂いというのは特殊感覚と呼ばれます。それは体全体に在る訳ではないからです。舌や鼻にだけある特殊なセンサーがあります。化学物質に反応する特殊感覚です。それに対して、体性感覚のある皮膚感覚というのは、体中にある全ての皮膚の表面にセンサーがあります。どういうセンサーかと言いますと、機械的刺激に対する機械受容器というものがあり、そこに触れていると力が掛っていることやそういったものを感じるものでもあります。ではそれがどのようになっている

かと言いますと、脳みその分野に体性感覚野があります。それぞれ部分によって脳の中で刺激を判断する部分です。そこでこの部分を人間に例えて表現するとこれをホムンクルス像と呼びますが指がめちゃくちゃ大きいですね。その次に大きいのが舌や口ですね。つまり指先には機械受容器というものが高密度で存在しています。舌や唇にも高密度で機械的な力や位置関係を判断するものが存在しているということです。

こちらは皮膚の表面です。中に毛が生えていたりいなかったりするとところが有り、このような所に4種類位の感覚器があることが分かっています。その4種類の内、役割が違う2種類があります。1つは、速順応といい早く反応するものです。それから遅順応といって遅く反応するものがあります。これはどういうことかと言いますと、早く反応するという事は、そこに物が当たった時や外れた時、力が変化した時にその力が変化したということを反応するセンサーがあります。

機械受容器の特性

- 多種類
 - マイスナー小体・パチニ小体・ルフィニ小体・メルケル盤
 - 速順応：マイスネル小体・パチニ小体
 - 遅順応：メルケル盤・ルフィニ小体
- 順応性
 - 速順応：速度感応・加速度感応一変化
 - 遅順応：圧感応・速度感応一全体・強度比例
- 押し込み感度
 - 平均靱性14・56 μ m・10nm以下のものも

明治大学 歯工学科

もう一つが、全体が当たったら当たったところ、つまり2倍の力で当たったら2倍で当たったところというように全体的な感覚として反応する部分があります。次にセンサーの感度としてはどういうことかと言いますと、高感度のものだと、17nmです。ちょっと分かりにくいかもしれませんが、10のマイナス9乗メートルという非常に微小な変形でも感知できます。テレビ番組でも微小な厚さを職人さんが手で触ってどれ位変化しているか等の番組もあるように、押し込み感度が非常に優れているからだと思います。

ですから人間は17nm位の違いを感知する能力は人によって違いはありますがあるということです。そしてこういったものが口の中にも色々あるということです。

⑤ 咀嚼することと咀嚼した時の情報

口の中を見ますと、口の中で物を噛むことを咀嚼と言いますが、皆さんは意識して咀嚼していますか？意識してないですね、無意識の行為ですね。無意識で口の中で物を噛んでいますね。実は3箇所です。切歯（前歯）で物を噛み切り、臼歯（奥歯）で砕く・すり潰すということをします。そしてあまり意識していない咀嚼する場所として実は、舌と口蓋というのがあります。口蓋は上顎の固い部分を言います。これは柔らかいゼリーや噛まないような柔らかい物を口の中に入れた時に無意識に舌が口蓋に押し付けて、そこで物を砕いています。口の中では3種類の咀嚼する部位があるということです。

咀嚼と口腔構造

咀嚼の種類

- 舌と口蓋で押しつぶす
- 切歯（前歯）で噛み切る
- 臼歯（奥歯）で砕く・すりつぶす

明治大学 歯工学科

咀嚼時の情報

- 腱紡錘
 - 開口筋の強さ＝咀嚼力の情報を脳へ
- 歯根膜機械受容器
 - 歯根膜の変形に対応した情報を脳へ
- 口腔粘膜機械受容器
 - 口腔内に分布 位置・形状の情報を脳へ
 - 分布密度：歯肉>圧覚>触覚>冷覚・温覚
 - 前部>後部
- 速順応型 初めと終わり：力が変化するとき
- 遅順応型 全期間中：強度に比例

明治大学 歯工学科

咀嚼した時の情報としては、1つは腱紡錘と呼ばれる顎を動かす筋肉に力が掛かる、掛らないということ。それから歯根膜機械受容器というのがあります。実は歯の根元にセンサーが付いていて、物が当たるとそこが変形して物が来たということを感じるところがあります。それから口腔内粘膜機械受容器という、口の中全体に物が入った時どこの位置に食べ物があるか、どれ位の固さであるかということ判断します。先程の早く反応するのと遅く反応するのが口の中にあるわけです。そうする

と口の中で物を食べた時に噛み始めだとか噛み終わりだとか物が大きく潰れる時や変化する時に刺激を受けます。そこで反応するという事になります。だからずっと同じ物を食べていると口の中の感覚が分からなくなってきます。それが、外側が固い中が柔らかい、外がさっくり中がとろーりという、なんとなく刺激が多くなる訳です。そのように人間の体の構造は、センサー構造になっているということです。食品を口の中で咀嚼（つぶして）いくと、食感として皆さんが表現するということです。ですがこれは無意識の世界なので、これをもう少し見える化、分かるようにしたいと思います。そしてその考え方として力学的な力の関係と構造的な関係を、明らかにしていきたいと思ひます。

⑥ 食感の見える化

1)変形の見える化

大変形試験

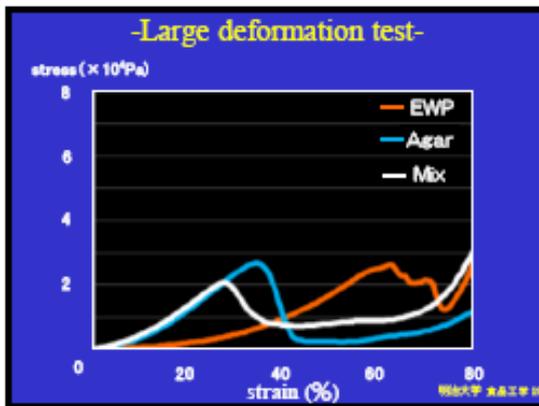
- 破断試験
 - 応力-ひずみ曲線
- 模擬的
 - テクストロメーター
 - テクスチャー・アナライザー
 - ファリノグラフ
- 経験的
 - ペネトロメーター
 - カードメーター

明治大学 食品工学科

グミを測る

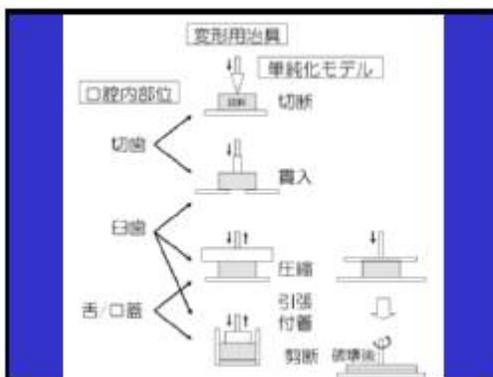
↑ クリープメータ (食感測定装置)

その為の試験として大きく壊すような試験、大変形試験というものがあります。これは力を加えた時に、どれだけ変形させたら力を加えたのかということです。テレビでもよく紹介されているので、皆さん見たことがあるかも知れませんが、これがクリープメータ（食感測定装置）です。ここにグミキャンディを乗せて、センサーが付いているので上下し潰していきます。



この表は、グミキャンディの中に刺さっていった距離が横軸です。変形していった距離があって、縦軸に力となっています。皆さん、硬い柔らかいという定義はどのようにされているかご存知でしょうか？物を触った瞬間に硬い柔らかいを判断していますが、どうやって判断しているかということ、一つは同じ変形量をするのに、オレンジの線は0.1位で変形しますが、他の色の線は1くらいの力がいります。0.1と1の数値だと同じ変形するのに力が大きくかかる方が硬いという判断をします。もしくは同じ1の力でその物を押した時、

変形量が20%、例えば20mm変わるものと40mm変形するものとは、変形量の小さい方が硬いということになります。ですから物の感覚としては、物と力と変形量の関係として判断しています。ですから硬い柔らかいは今言ったような関係になっています。では次にこれを食感の時にどんな測り方をするのかということですが、先程突き刺しましたね、このことを貫入と言いますが突き刺すということは、前歯で噛み切る時の動きに似ています。次に奥歯（臼歯）は、貫入の場合もあれば圧縮の場合もあります。それから舌と上顎の間で物を潰す場合は、平なもので圧縮して潰していきます。こういったもので測ると変形に対する力のかかり方というのが数値化されます。ですから変形過程を模した物理測定をすると、どの部分を舌で潰しているのか、前歯で噛んでいるのか、奥歯ですり潰しているのかによってどういう測り方をすれば実際の食品を食べた時の食感に近いのかということが考えられるということです。



破壊過程を模した物性測定

- 舌と口蓋で押しつぶす
- 切歯（前歯）で噛み切る
- 臼歯（奥歯）でつぶす

↓イメージ

大変形試験（破壊測定）客観的数値化
 フランジャーの選択・試料の形状
 ↓変形と応力
要素の抽出
 2次元以上で特徴付け

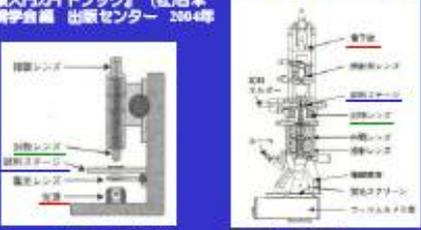
明治大学 食品工学科

2)構造の見える化

透過型電子顕微鏡(TEM) 200kV



光学顕微鏡と透過型電子顕微鏡の違い
 『電顕入門ガイドブック』(社)日本顕微鏡学会編 出版センター 2004年



光源：可視光線	電子線 (線径線)
レンズ：ガラスレンズ	電子レンズ(磁界レンズ)
倍率：1,500倍	1,500,000倍
分解能：0.2μm	0.1nm

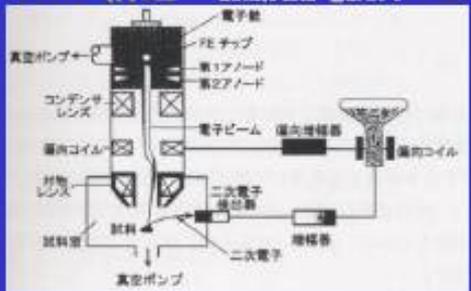
明神大学 食品工学部

次に構造観察の話をしたと思います。「電子顕微鏡」を聞いたことはありますか？普通の顕微鏡は光で物を見ていますが、電子顕微鏡は電子線を飛ばしそれで物を見ようとします。そうすると波長が短いのでより細かい物が見えるのです。電子顕微鏡には、透過型電子顕微鏡と呼ばれるものがあります。透過型電子顕微鏡とはどういうものかという、皆さんが理科の実験で使ったことがある光が入ってきて、資料に当たり透過しそれをレンズで拡大して見るという顕微鏡と一緒にです。下から光が入ってきますが、こちらは上から電子が流れます。レンズはガラスで出来ていますが、電子ですから磁場です。電気を流して磁石にしてからそれを曲げるわけです。ガラスの屈折率で曲げるのと同じように電気の磁場で電子線を曲げて上から試料にあて見るということです。そうすると普通の光で見ると0.2μmと呼ばれるものが0.1nm といつて1000倍位大きく見えます。

走査型電子顕微鏡(電界放射)
(FE-SEM)



SEMの構造
 『電顕入門ガイドブック』(社)日本顕微鏡学会編 出版センター 2004年



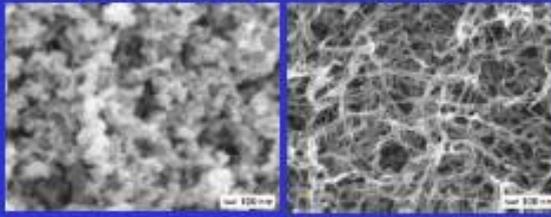
SEMの分解能：細くて輝度が高い電子ビーム必要

明神大学 食品工学部

それに対して走査型電子顕微鏡というのは、先程に比べて背があまり高くありません。どういう原理になっているかと言いますと、これも電子を出してコイルで曲げてあげるので、先程は透過しましたね。それに対して今度は反射してきた電子を集めて見ます。これは人間の感覚に近いものです。物を透過ではなく反射して来た物を見るという顕微鏡になります。これで見ると、紐状のものと丸い物が集まった像が見えています。実はこれは5万倍で観察したものです。5万倍と言っても中々判りづらいと思いますが、1mを5万倍にすると50kmとなりここからだと日本橋位となります。箱根駅伝ではこの杉山産業化学研究所の前の道も走りますが、東京からだいたい50km位です。1mをここから東京(日本橋位)まで拡大して見ているということなのです。

電子顕微鏡観察像

ゆで卵 ようかん
 <卵白タンパク質> <寒天>



5万倍で観察
1mを5万倍すると

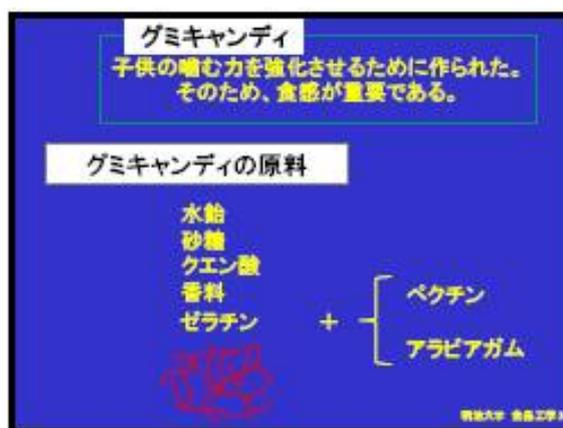
階層構造

CLSM X0.4k TEM X400k
 AFM
 SEM X1k SEM X10k SEM X50k

明神大学 食品工学部

では電子顕微鏡で見てみましょう。これは羊羹などに使われている寒天（食物繊維）ですが紐状の物が網のような構造を作っています。これをネットワークと言います。こちらは卵のタンパク質です。要はゆで卵です。ゆで卵は丸い分子の姿をしていますが、それを加熱すると集まってネットワーク構造を作って固まるということが分かります。こんなふうには5万倍で観察すると分子の集まり方が見え出していきます。こちらは光学顕微鏡を使って400倍で見たタンパク質を、赤く染めてあります。これを拡大すると先程のタンパク質が集まった葡萄の房のような構造が見えてきます。さらに1万倍拡大するとまた同じ構造が見えます。さらに拡大しても同じような構造が見えます。分子の集まり方がグシャグシャと集まったのが、これが1分子の大きさです。これが集まり黒い部分でネットワークを作りそれがどンドン集まりこれが階層構造と呼ばれます。最初の分子の集まり方が最後の分子の集まり方の形も制御するということが考えられています。高倍率で見るとこのようなことも見えてきます。

⑦ グミキャンディの歯応えの見える化



それでは実際の食品の話をしたしたいと思います。グミキャンディについて今から配っていただきますのでそれを見ながら聞いていただければと思います。グミキャンディというのは食べたことがありますか？ちょっと硬いので、まず指で触ってください。①、②、③と袋に書いてあるので袋の上からでも結構です。指には先程言ったように、機械受容器がありますのでセンサーが高密度にあります。触っただけで分かると思います。実はグミキャンディというのは、ドイツで1920年頃開発されたお菓子です。まだ最近の話です。元々子供の噛む力をトレーニングする為に開発された商品なのです。開発した企業は「ハリボー」と言います。それに対して今回ピュレグミという「カンロ」の会社の商品とサワーズという「ノーベル」という会社の商品の3種類用意しました。触ってみると大分違うと思いますが、どうでしょうか？硬いということは間違いありませんが、硬いという違いをどう表現されますか？指で触った感じや、市販されている物なので食べても大丈夫ですが、なぜこんなに食感が違うのでしょうか？どう違うのか？なぜ違うのか？についてこれから話を進めていきたいと思っています。

グミキャンディの原料というのは、砂糖と水あめで75%位入っています。クエン酸と香料が入り、ゼラチンが5%前後入っていて残りが水です。水は20%位入っています。普通のキャンディであれば水は5%以下位少ないので、水が少し多いということです。②と③は日本のグミですが②のグミは、ゼラチンだけでなくペクチンと呼ばれるジャムの原料が入っています。③はアラビアガムという樹脂（木の液）が入っています。そういうものを添加すると食感が①のハリボーに対して、②のペクチンが入るとサクリ歯が入ったような感じがしませんか？次に③のアラビアガムが入ると、非常に硬くなっていませんか？このように原材料が違っていると食感が違うのです。

多成分系

- ・ 砂糖/水 + 塩/水 = 砂糖・塩/水
- ・ タンパク質/水 + 多糖類/水
共存系では混じり合う?
W/W (P/C)
- ・ 水と油脂 非相溶性
乳化 O/W W/O

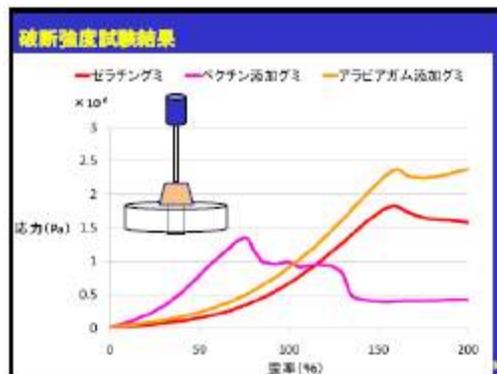
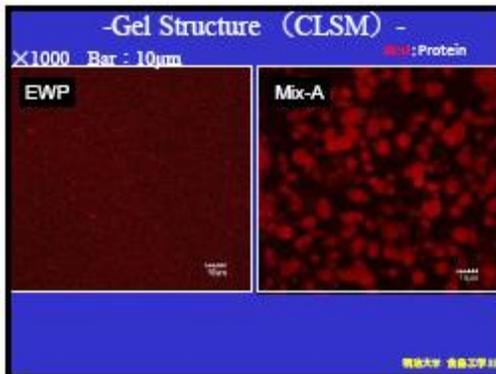
明治大学 食品工学科

高分子系 相分離

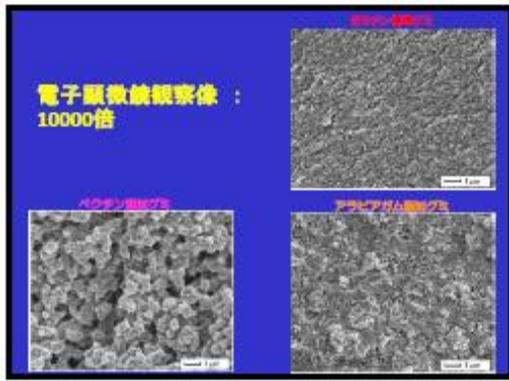
- ・ 朝倉&大沢(名大)枯渇効果 Depletion effect
- ・ 排除体積効果 Entropic excluded-volume effect

明治大学 食品工学科

ではなぜ原材料が違っていると食感が違うのかという話になってきます。その前にちょっと難しい話になりますが、イメージだけでも分かってもらえたらと思います。色々な成分が入っていることを多成分系といいますがこの場合は、ゼラチンというタンパク質にペクチンという多糖類（種類が違う物）が入っています。例えば砂糖水と塩水を混ぜると砂糖塩水が出来ます。これは混ぜた液にどこを取っても味は一緒ですね。つまり均一に全体が一緒になるように混ざるわけです。その方がエネルギー的に安定だということなのです。ゼラチンとペクチンと一緒に水に溶けているわけですが、混じった時どうなるのかということなのです。実は交じり合わない事があるということです。それはどういう事かと言いますと A という成分と B という成分があった時に、A の周りに点線で書いたところが近づけない領域というのがあります。そうするとバラバラでいるよりも黄色い物同士近くにいた方が体積が小さくなります。そうするとバラバラでいるよりも集まった方が、安定するのです。ですからそれぞれ水に溶ける物でも一緒にすると自然に分かれていきます。



例えばこちらの表は顕微鏡で見た時の卵のタンパク質です。全体に赤いです。これを寒天と一緒にすると赤が集まっています。このことを相分離（分かれてしまう）と言います。では先程食べたり触ったりしたグミキャンディの食感というのを、横軸を潰した時、縦軸を力として、グラフにしたものがあります。まずゼラチンだけだとこのように上がってきて潰れていきます。ペクチンを入れるとサクリしていましたが、実は最初は硬いですね。噛み始めは硬いのです。ですが壊れるところがそんなに潰さなくても壊れます。ですから皆さんは②のペクチン入りのグミを食べた時、硬いと思われたか、柔らかいと思われたか、それとも両方だと思われた人がいらっしゃると思います。どこを硬いと判断したかで違いが出ます。つまり噛み始めを硬いと判断した人は硬いと言います。それに対して噛み切る（壊した）ところで判断した人は柔らかくなったと表現する人もいます。このように口の中のどの位置で変形させたことで判断する人の評価は違ってきます。よく食品開発をしていた時に「硬い」と言っている人と「柔らかい」と言っている人がいました。そのようなことが有りえるのです。③のアラビアガムが入っているグミは、②よりも更に壊れにくく同じようなところで沢山の力があるということで硬かったということになります。このようにこの機械を使えば、皆さんが口の中で噛んだ場合と同じで、グミに突き刺しに行く貫入型つまり前歯でその食品の中に入っていくという変形方法で測ったので、このような差が出たということです。もしこれが平らな物で測るとこのような差が中々出てきません。選んであげるとこのような結果が出てきます。



ではこれを電子顕微鏡で見ていきたいと思えます。パッと見、構造が違うのが分かるでしょうか、ゼラチンの入ったものやペクチンが入ったもの、アラビアガムが入ったものです。後ろの方が分かりづらいと思うので1万倍で拡大したものにします。これはゼラチンのネットワークなのです。1万倍ですと分子の形までは見えてきませんが、前面にネットワークが作られています。これに対してペクチンが入ってくるとペクチンとゼラチンが一緒になってネットワークを作り、間に隙間が出来ています。集まっているところは密度が高いので、最初の噛み始めの

力が余計に入りますが、隙間があるので早くもろく壊れやすくなります。こんな食感になっています。次にアラビアガムです。少し見づらいますが丸い部分と繋がった部分の2つから出来ています。ゼラチンが繋がった部分とアラビアガムが球状に存在している部分があります。球状にアラビアガムが存在しているとその周りのゼラチンの濃度が上がります。この球状の物は、 $1\mu\text{m}$ 以下なので非常に細かい球状の構造になっています。ですからゼラチンの濃度が高くなったことにより、硬くなっているということです。これをさらに拡大して見るとゼラチンのネットワーク層にアラビアガムの層が出来ています。これをセル構造と言いますが、そういうものが $1\mu\text{m}$ 以下で出来ている。そうすると非常に壊れにくい硬さを現しています。ペクチンが入ったものは、ゼラチンとペクチンが一緒になってネットワークを作っています。紐状のものがペクチン、球状のものがゼラチンです。ゼラチンを高倍率で見るとネットワークを形成しています。さらに拡大して透過型電子顕微鏡で見ると黒いところがゼラチンですが、ゼラチンの染まり方がゼラチンのネットワークに対し黒いところが多いです。つまりゼラチンの密度が高いことが50万倍位拡大すると見えてきます。

このように食品を咀嚼ということで、グミキャンディを噛んでもらいましたが、それを言葉で表現する時は無意識に表現していますね。でもそれを噛み始めなのか、噛み切る時なのかと意識をすると、自分は前歯で噛んでいるのか、奥歯で噛んでいるのか、噛み始めなのか、噛み切る時なのかと意識すると、数値化することが出来ます。そして構造を顕微鏡で観察するとどのような構造がどのようにして壊れていくかが判ります。それをパターン化すると破壊過程というのが分かります。そうすると食感のイメージと言う物を数値で表す、映像で表す、見える化ということが出来るのではないかと考えています。

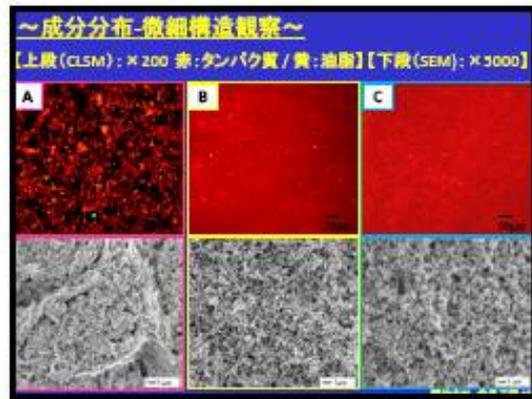
⑧ プリンの口どけの見える化

次にプリンの話をします。9種類のプリンを買って成分を見てみると特徴があります。原材料に全卵だけで寒天やゲル化剤など入っていないものや、卵が入っていないプリンもあります。アレルギーなどを考えて作っているのかも知れませんが、ゼラチン・寒天・ゲル化剤で固めている物もあります。色々な種類があります。これを壊してみるということになります。プリンを壊すといのは前歯で噛みますか？プリンは舌で潰します。平らなところでペチャッと潰します。すると最初の方で破壊すると力が抜けます。これを破断点といいますがこういうものを生じる場合と、噛み切る前に潰れるものと、そういうものに現れてこないという3つのパターンに分類されます。

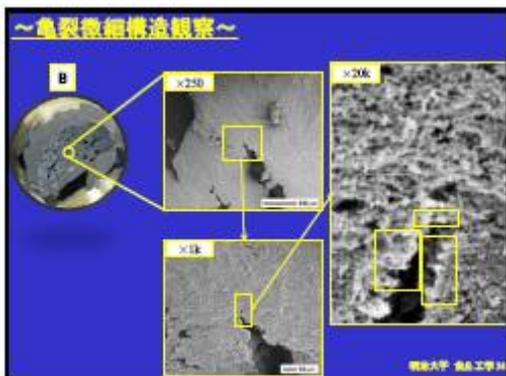
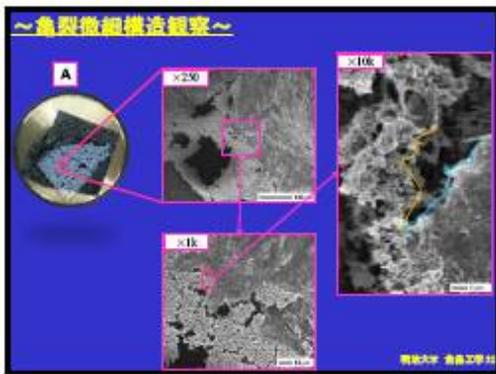


市販プリン...9種			
グリコ乳業 プッチンプリン	明治乳業 とっぴりプリン	MEGUMILK なめらかプリン*	明治乳業 プリンBIG
乳脂肪、カラメルシロップ、砂糖、増粘多糖、生乳、コーンスターチ、澱粉、黄塩、カルシウム、増粘多糖類、香料、乳化剤、酸化防止剤、ビタミンC	砂糖、卵黄、卵黄液、卵黄粉、生乳、カラメル、水あめ、香料、増粘多糖類、乳化剤、酸化防止剤、ビタミンC	糖類(砂糖、黄塩)、水、卵黄、卵黄液、卵黄粉、生乳、カラメル、水あめ、香料、増粘多糖類、乳化剤、酸化防止剤、ビタミンC	砂糖、卵黄、卵黄液、卵黄粉、生乳、カラメル、水あめ、香料、増粘多糖類、乳化剤、酸化防止剤、ビタミンC
オハヨー乳業 朝市プリン	明治乳業 朝市プリン	明治乳業 カスタードプリン	明治乳業 こだわりプリン
糖、砂糖、カラメルシロップ、生乳、乳脂肪、増粘多糖類、香料、乳化剤、酸化防止剤、ビタミンC	糖、砂糖、乳脂肪、生乳、カラメル、水あめ、香料、増粘多糖類、乳化剤、酸化防止剤、ビタミンC	生乳、糖、砂糖、卵黄、卵黄液、卵黄粉、カラメルシロップ、黄塩、水あめ、香料、ゼラチン	卵黄液、砂糖、全乳、糖
明治乳業 プリン	明治乳業 プリン	明治乳業 プリン	明治乳業 プリン
糖、砂糖、カラメルシロップ、生乳、乳脂肪、増粘多糖類、香料、乳化剤、酸化防止剤、ビタミンC	糖、砂糖、乳脂肪、生乳、カラメル、水あめ、香料、増粘多糖類、乳化剤、酸化防止剤、ビタミンC	生乳、糖、砂糖、卵黄、卵黄液、卵黄粉、カラメルシロップ、黄塩、水あめ、香料、ゼラチン	生乳、糖、砂糖、卵黄液、卵黄粉、乳脂肪、増粘多糖類、香料、乳化剤、酸化防止剤、ビタミンC

この3つについてメグミルクのなめらかプリン、明治乳業の焼きプリン、アンディコの極みプリンを詳細に調べて来ました。



まずどうやって調べるのかといいますと、平のところでペチャッと潰しますが、この時に膜を使い膜の間に挟みこんでやると壊さなくても取扱いが出来るので、固定をして試料台の上に乗せて電子顕微鏡で観察していきます。まず光学顕微鏡で見ると、まずAは黒い所が多糖類、紐状がありまして、赤い所はタンパク質が集まっている様子です。BとCは5千倍位で観察しても違いが良く分かりません。これを5万倍で観察するとBとCの違いが分かります。Bの方が丸い数珠状に繋がりネットワークを作っているのに対して、Cの

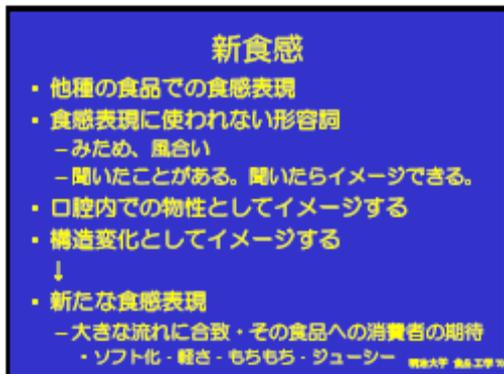


プリンは葡萄の房状に集まって凝集しているような様子があります。それに対してAの方はタンパク質の丸いものと紐状のものが混じっていますが、こちらも見ると繊維状の多糖類だけの構造があるというのが分かります。潰した後の塊の大きさですが、Bが割りとまっすぐ壊れて大きい、Cというのは非常に細かく壊れています。Aは大きく壊れています。このように壊れ方の違いが見えてきます。

こちらは試料台の上にペッチャンコに潰したプリンを250倍で拡大した部分を写したものです。境がなんとなく見えます。これを更に拡大して1000倍にして見ます。境界が分かります。これを1万倍に拡大して見ると紐状の球状が見えてきます。これを5万倍まで拡大すると右側の方は繊維状の面が出ています。左側は、球状が出ています。つまり丁度亀裂が発生しているところを5万倍で見ると球状と繊維状の境目のところが壊れていくということが分かりました。

次にBのプリンを見てみましょう。Bも同じように拡大して亀裂の先を見ていくと横に走っているのが分かりますか？ネット

⑨ 好まれる新食感のお話し



1)もちもち食感

ではもちもち食感の話をしたと思います。どのようなものを食べた時に「もちもち」と感じますか？基本的にはおもちに関連している言葉なのではないでしょうか。「もちもち」は舌と上顎でプリンのように潰す時に「もちもち」と感じますか？感じないですね。噛む系、前歯で噛むというような動作がある食品系の場合にあると思われます。噛み始めなのか噛み終わりなのか、周辺付近又は中心付近を壊している時なのかを考えてみました。

すると1つ仮説をあげると、「柔らかい」「もちもち」を感じる

る為には、まず初めは柔らかくしなければなりません。ある程度柔らかさで歯が入っていくということです。最初が硬ければ「もちもち」とは感じません。しかし噛み切りにくさ、最後噛み締めた時には物が壊れない、伸びる、破壊されないという食感、そこで力がいらいます。始め柔らかいけれども噛み切るには力があるというのが、「もちもち感」の一つの要素だと思われます。これは一回目の咀嚼ということです。2回目の咀嚼に入る時には、歯にくっつくという要素、付着性がないと「もちもち感」は感じません。2回目以降も1回目の比較からみるとそんなに壊れません。1回目と2回目の差が大きすぎないということです。それが「もちもち」の条件ではないかという1つの仮説として考えられます。例えば澱粉の種類で、今タピオカ澱粉のことを申しましたが、それ以外にも馬鈴薯澱粉（片栗粉）やコーンスターチ（とうもろこし澱粉）、ワキシーコーンスターチ（もちとうもろこし澱粉）こういったものを小麦澱粉の25%の濃度のところに5%だけ足して30%濃度でのりを作ってあげる。その固まったのり（ゲル）の硬さを横軸にし、変形した力を縦軸にとってみると小麦粉25%にワキシーコーンスターチ（もちとうもろこし澱粉）を入れることによって柔らかくなっています。それに対してタピオカ澱粉を入れると最初は柔らかいです。ですが壊れる前になると上がってきてずっと硬くなります。ワキシーコーンスターチよりもタピオカ澱粉の方がもちもち感を感じるということがこういうことに理由があります。ポテトを入れると最初から硬くなって壊れるところが手前になり、より少ない変形で壊れるのでさっくりした食感といわれるのは、こういうところに出ていると思います。ですからもちもち食感というのは、単に硬いか柔らかいか口どけが良いとか悪いとかではなく、複合的な食感です。口の中の変形部位や咀嚼の1回目の前半なのか後半なのか2回目以降どうなのかと考えてあげると、そのようなことで主観味覚を解析出来るようになってきます。そうして構造と物性を考えてみると、どんな構造があればこのような食感が作れるのか、食品を開発する人は先へ出来るようになります。実際食べる時こんなことを考えて食べていたらおいしくないですね。家内にも、「こんなこと分析していたらおいしくない、素直においしいものはおいしいと言えればいい」と言われますが、開発する方からすると単においしいだけではどうしようも無いのです。このように分析的に考え、よりおいしい食品を作っていきたいと思っているからなのです。

それでは開発する方から言う新食感とはどんなことを新食感というのでしょうか？1つの新という意味で言うと、それまで使われていない食品で使う場合、それから食感表現に使われない形容詞、「みため」や「風合い」など食品には使いません。例えば「もちもち肌」というのは以前から使っていました。それを「もちもち」という言葉の雰囲気や音、感覚、イメージを口の中で噛んだ時の「もちもち」に結びつければ新食感になる訳です。つまりイメージが一致すれば別に食品でなくても、形容詞を新たに使い「新食感」というような形に持っていくことが出来ます。口腔内での食感表現というのはイメージで、単に硬い・柔らかいだけではないイメージを言葉にして擬音語・擬態語を使っているということなのです。そうすると「もっちり」「もちもち」の違いが出てきます。「もっちり」「もちもち」の違いはどこにあるのでしょうか、このようなことも解析されつつあります。「もちもち」というのは繰り返しの感覚が強いです。1回目2回目3回目割りと続きます。それに対して「もっちり」と言うのは、1回目にぐっともっちり、終わりという使わ

れ方をしています。そうすると今言った構造面から考えると、どのような構造になっていけばそのような表現やイメージに近づくのだろうかと食品を開発している人達は、そんなイメージで物を作っているのではないかと考えています。

2)好まれる食感

次に食感の話として、好まれる食感というのが実はあります。どのような物かと言いますと、「柔らかい」、「サクサク」この2つの大きな流れがあります。柔らかいとはどういうことかと言いますと、大昔エジプトでピラミッドを作っていた時代は、パンは単に水を加えて焼いてただけで、発酵はしていませんでした。それに対して誰かがきつとビールを入れたのです。そうすると発酵して中に気泡が入って今も食べているような発酵パンとなりました。そうすると非常においしいし柔らかく、発酵パンというのは好まれるということなのです。それから明治時代の柳田國男の報告でもあるのは、「最近の日本の食は柔らかくなった、それは煮物が増えたからだ」と言ったものが書かれたりしていました。卑弥呼の時代に比べて今の食品というのは非常に柔らかくなっているのも聞いたことがあると思います。これは別に日本だけではなく、世界共通なのです。また、「サクサク」という非常に水分の少ない食品を食べた時の感覚ですが、ものが軽やかに壊れていっている感覚も世界共通で好かれています。

ひとつ日本独特の食感というものがあります。先程「ねばり」と「弾力」という言葉が出てきたと思いますが、基本的にねばる食品というのは、世界的にみると好まれません。なぜかというねばりというのは物が腐るときだからです。私は関西出身なので納豆は腐っていると思っています。このようなことを言うと怒られてしまいますが、微生物が発酵すると粘りを生じます。粘ってくると世界的に腐った食べ物というイメージが重なって嫌われることが多いのです。

好まれる食感の方向性

- ・ 人類共通の傾向
 - やわらかさ
ハシ 古代エジプト 発酵パンは賞味さの象徴 発酵ハシ
 - さくさく
- ・ 日本人が好む基本的な食感
 - 米飯：やわらかい、粘りと弾力
 - ・ 品種：ジャポニカ種
 - ・ 調理：炊く

71

好まれる食感と食品構造

- ・ 組み合わせ 食事
 - ドンブリ ラーメン
- ・ 多様性 (変化・不均質)
 - 始めは柔らかく
 - 最後は弾力
 - 外は「サクリ」
 - 中は「トロリ」
 - 相反する性質の両立

⇒ 実現させるための 食品構造は？
どの様に作る？



明治大学 食品工学部

それに対して日本人というのは、粘りという物が好きな人が多いです。仮説として言われていることは、米飯（ジャポニカマイ）を炊くということです。つまり日本の炊き方というのは加えた水を全部米に吸わせて終わりですね、おかゆでは無い訳です。つまりそうする事によってのりの粘りというものが出てきます。「おねば」とも言われますが、そういうものがあると非常に日本人は好きなのです。ですから米飯を食べるということは、やはり日本人の基本的な食感として「もちもち」なんかもそれに通じる場所があります。そういったものが日本人の好む基本的な食感としてあるのです。

好まれる食感としてもう一つ組み合わせというものがあります。日本人はラーメンが好きですね。だけど素ラーメンではどうでしょうか？最近学生に素ラーメンと言っても通じないですが、具の入っていない麺だけのラーメンのことです。ラーメンと言えばとろけるチャーシューですね、こりこりしたしなちやくやシャキシャキした葱というように食感の違うトッピングがのって、麺を食べるのが飽きてきたら具の食感を食べる

ことによって、リセットしてまた食べるということです。先程センサーの話をしましたね。センサーというのは、2種類あると言いましたが、1つは口の中に変化を感じるセンサーで、もう一つはあるない全体的に感じるセンサーです。つまり変化を感じるというのは、変化がないと刺激が無いということです。例えば始めは柔らかく最後はもっちりとは、柔らかいけれど力があるというように矛盾していますね。その他に、外はサクリ中はとろりとは最初の噛み始めは硬くて、ちょっと硬いと思ったら中からトロトロとろりとして出てきます。そうすると刺激が非常に多い訳です。つまり相反する性質の両立です。これは出来たて、調理されてすぐの食品というのが、これに成立する訳です。これが加工食品になると中々成立しません。昔から

言われていた揚げたての天ぷらが加工食品で出来たらというのが永遠のテーマ的に言われています。揚げた食後の衣のサクリ感とその中の半生状態なものは加工食品で置いておくと無くなってしまいます。それをいかに実現させるのか、その為の食品構造をどのように作るのかというようなことを今回の食感の見える化が出来れば可能ではないかと思えます。

⑩ 大切なことはおいしく食べること

食品の話をするといつも最後にこの話をしますが、国の食生活情報サービスセンターが言っている「食事バランスガイド」です。出来るだけ多くの種類の食物を食べましょうという話です。これは結局 100%安全なものはないということからリスク分散なのです。色々な物を食べるということは、食感的に考えても素ラーメンよりは、具のあるラーメンを食べた方がおいしい訳です。更に 2 次機能として、おいしく食べるということは、実は体の代謝を高める、消化吸収を高めると言われています。同じ食事をするのでも単に栄養素だけ口の中に入れて食べて



いるのと、ワイワイ言いながら楽しい気分で食べているのとでは、体にとって全然違います。そういうものの一つとして「プラセボ効果」というものがありますが皆さん聞いたことがありますか？医薬品の試験をする時に、本当の薬と薬の入っていない偽薬を投与し、その差を見ます。なぜそんなことをするかと言いますと、人間は「プラセボ効果」があるからです。例えば高い化粧品を買ったのだから顔に塗ると絶対綺麗になるのだという信念を持って塗ると綺麗になっていくという効果があるのです。ですからおいしく食べるということは人間の食生活の基本にあるのではないかと思っています。

以上で食品の「食感の見える化」の話をして頂きました。どうもありがとうございました。