



第18回東海フォーラム 未来へげんき
To the Future / JAEA

干し芋の「しっとり感」計測 —食品のマイクロ構造の解析—

原子力科学研究所・物質科学研究センター
中川洋



- ・茨城県東海村やひたちなか市の名産品
(茨城県は全国第1位の生産量)
- ・乾燥食品で、日本を代表する保存食
- ・最近のしっとりとした食感の干し芋は嗜好品として好まれ、1年の中でも主に冬場の食品として食される。

	昔ながらの 干し芋	最近の干し芋
乾燥度合い	乾燥	適度
食感	硬い	しっとり
カビ	発生しにくい	発生しやすい
保存	長期	短期
		

味覚や食感を表すオノマトペ一覧

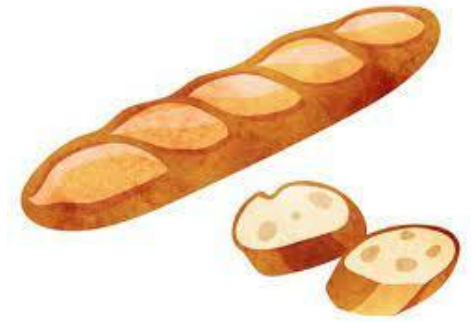
あっさり、アッサリ、かちかち、カチカチ、かちん、カチン、がつん、ガツン、からから、カラカラ、からっ、カラッ、からり、カラリ、かりかり、カリカリ、がりがり、ガリガリ、かりっ、カリッ、きーん、キーン、ぎとぎと、ギトギト、きんきん、キンキン、くたくた、クタクタ、ぐちゃぐちゃ、グチャグチャ、ぐつぐつ、グツグツ、ごつごつ、ゴツゴツ、こってり、コッテリ、こてこて、コテコテ、ことこと、コトコト、こりこり、コリコリ、ごりごり、ゴリゴリ、ころころ、コロコロ、ごろごろ、ゴロゴロ、ころり、コロリ、こんがり、コンガリ、こんもり、コンモリ、さくさく、サクサク、ざくざく、ザクザク、ざっくざっく、ザックザック、さっくり、サククリ、ざっくり、ザックリ、さっぱり、サッパリ、さらさら、サラサラ、さらざら、ザラザラ、さらり、サラリ、しこしこ、シコシコ、しっとり、シツトリ、しゃきしゃき、シャキシャキ、しゃきっ、シャキッ、しゃっきり、シャッキリ、じゃりじゃり、ジャリジャリ、じゅうじゅう、ジュウジュウ、じゅっ、ジュッ、しゅわしゅわ、シュワシュワ、しゅわっ、シュワッ、じゅわっ、ジュワッ、しんなり、シンナリ、すーっ、スーッ、すっきり、スッキリ、ずっしり、ズッシリ、すべすべ、スベスベ、するする、スルスル、ずるずる、ズルズル、ずるっ、ズルッ、するり、スルリ、ちりちり、チリチリ、つぶつぶ、ツブツブ、つやつや、ツヤツヤ、つるつる、ツルツル、つん、ツン、どっしり、ドッシリ、とろとろ、トロトロ、どろどろ、ドロドロ、とろふわ、トロフワ、とろり、トロリ、によきによき、ニヨキニヨキ、ぬるぬる、ヌルヌル、ねっとり、ネツトリ、ねばねば、ネバネバ、ばさばさ、パサパサ、ばらばら、バラバラ、ぼらぼら、パラパラ、ぼりっ、パリッ、ぼりぼり、バリバリ、ぼりぼり、パリパリ、ばんばん、パンパン、ひたひた、ヒタヒタ、ぴちぴち、ピチピチ、ひやっ、ヒヤッ、びりっ、ビリッ、びりっ、ビリッ、びりびり、ピリピリ、ふーふー、フーフー、ふかふか、フカフカ、ぶくぶく、プクプク、ぷちぷち、プチプチ、ふっくら、フックラ、ぷっくり、プックリ、ぷりぷり、プリプリ、ぷりんぷりん、プリンプリン、ふるふる、フルフル、ふるふる、プルプル、ふるん、プルン、ふわっ、フワッ、ふわふわ、フワフワ、ふわり、フワリ、ふんわり、フンワリ、べたべた、ベタベタ、べとべと、ベトベト、ほかほか、ホカホカ、ほかほか、ポカポカ、ほくほく、ホクホク、ぼこぼこ、ポコポコ、ぼそぼそ、ボソボソ、ほっくり、ホックリ、ぼりぼり、ポリポリ、ぼりぼり、ポリポリ、ほろっ、ホロッ、ほろほろ、ホロホロ、ぼろぼろ、ポロポロ、ぼろぼろ、ポロポロ、ほろり、ホロリ、ほわほわ、ホワホワ、ほんわか、ホンワカ、まったり、マツタリ、まるまる、マルマル、みっちり、ミツチリ、むちむち、ムチムチ、むっちり、ムツチリ、もそもそ、モソモソ、もちもち、モチモチ、もっさり、モッサリ、もったり、モツタリ、もっちり、モツチリ、やんわり、ヤンワリ、

オノマトペ:フランス語で
擬音語・擬態語

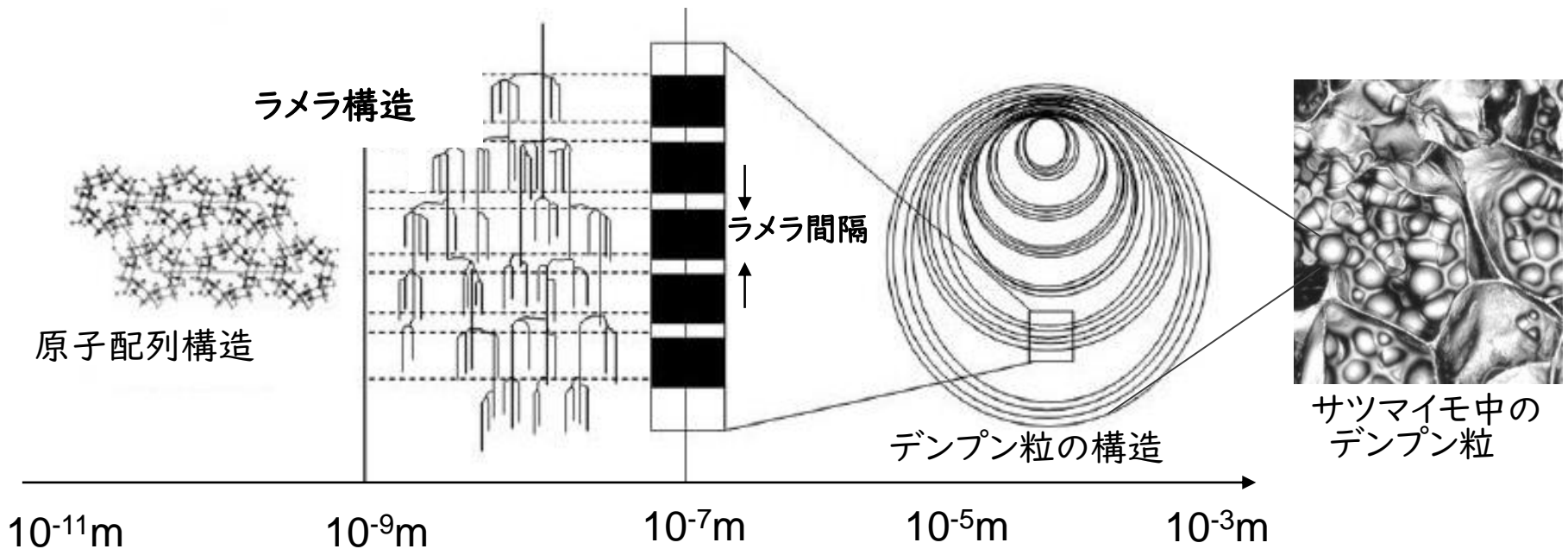
日本語には**食感**
(物理的なおいしさ)
を表現するオノマトペが
多い!

- ・物理的なおいしさ
→舌触り・歯ごたえなど
- ・化学的なおいしさ
→味覚・嗅覚など

食感 は 食品の構造と関係がある！



デンプンのミクロスケールの分子構造



食品の水分：**食感**を決めるもうひとつの重要なポイント！

食品の柔らかさと保存性はトレードオフ!?



水が制御する食品の”ガラス・ラバー転移”

乾燥した干し芋**しっとりとした食感**は失われ硬くなるが(ガラス状態)、カビや腐敗に強くなる。水分を増やしたり温めたりすると柔らかくなる。(ラバー状態)



マクロな観測量とマイクロ構造とを結びつける

中性子(JRR-3/J-PARC)による
ミクروسコピックな観測量

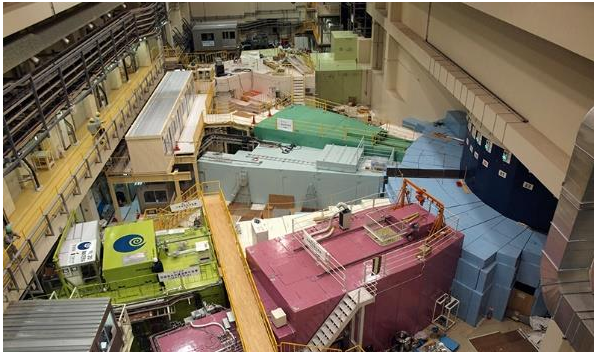
- ・マイクロな分子構造
- ・水の分子運動
- ・ガラス転移の分子ダイナミクス
など



オーソドックスな食品分析法
巨視的な観測量

- ・力学特性(食感の指標)
- ・水分活性(保存性の指標)
など

J-PARC



JRR-3



研究の狙い

最先端の中性子計測手法により、
食品のマイクロ構造を解明し、
食感などの食品の機能特性の
分子メカニズムを解明

サツマイモ(べにはるか)
の収穫作業



キュアリング処理



蒸し



皮むき



切る



乾燥



10℃、湿度0%設定

様々な乾燥時間で
サンプリング



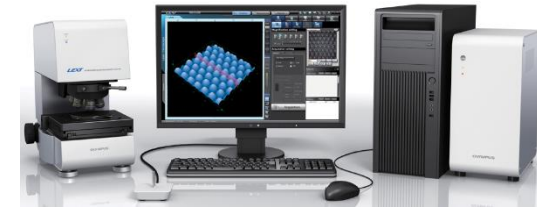
蒸かす前後や
乾燥時間によって
変化するデンプン
構造の変化を追跡

謝辞: 茨城県農業総合センター・園芸研究所

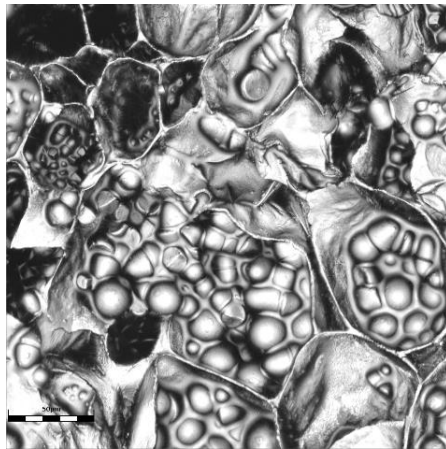
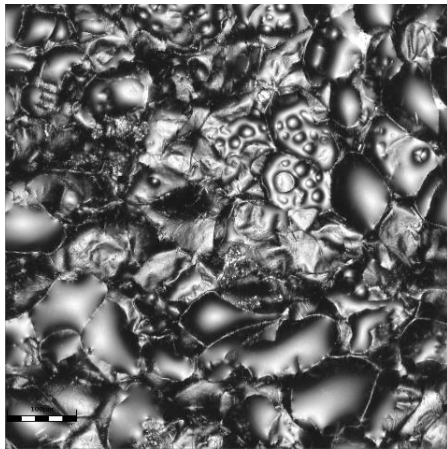
紅はるか(生イモ)



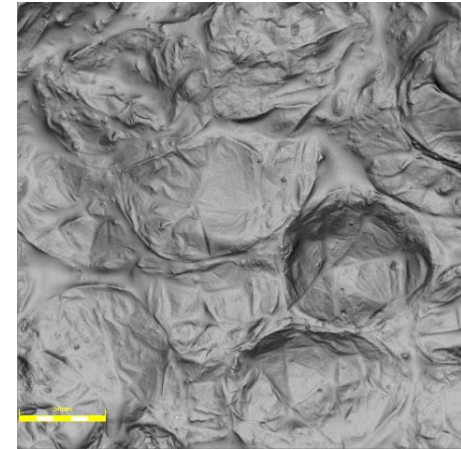
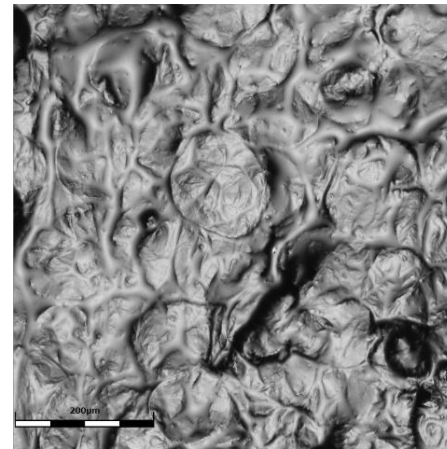
紅はるか(干し芋)



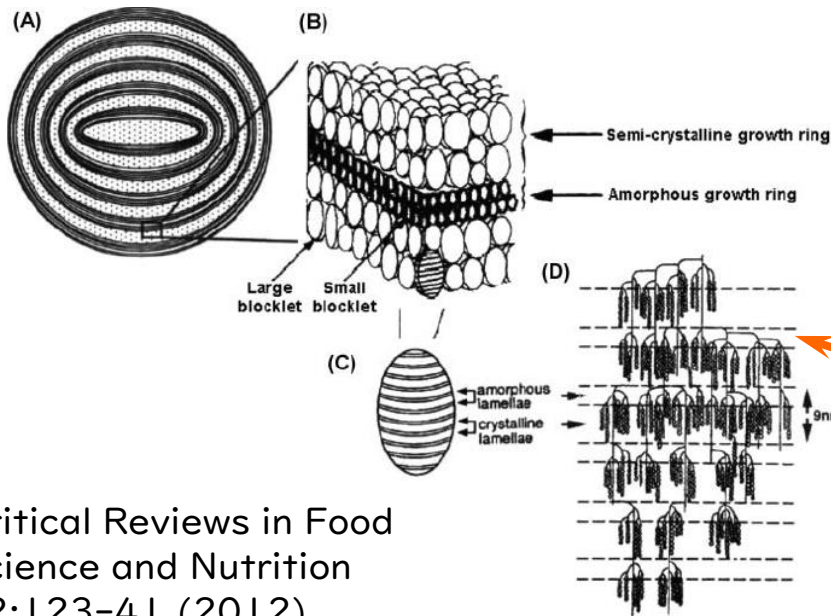
3Dレーザー顕微鏡
(島津)



細胞の中に、澱粉の粒が見える。

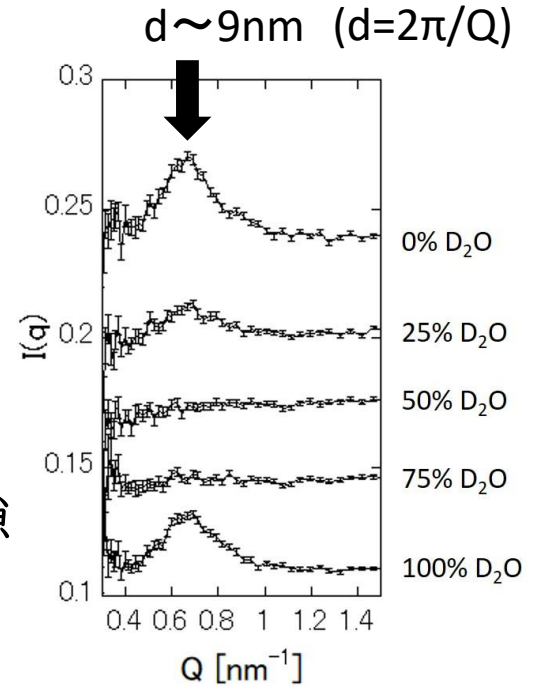


細胞の中の澱粉粒が糊のようになり(糊化)、べったりとした感じになる。



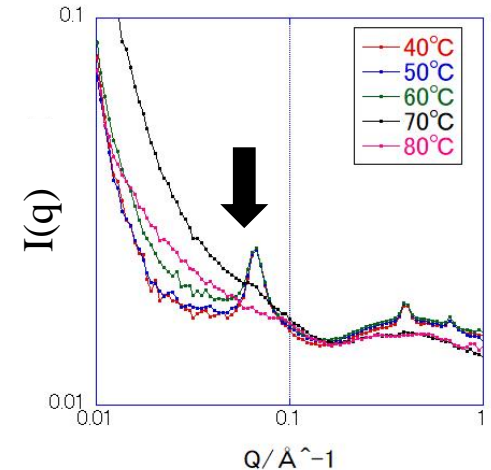
Critical Reviews in Food
Science and Nutrition
52:123-41 (2012)

デンプン鎖の間
に水が存在



水和したナノメートルスケールの
ラメラ構造はサツマイモを蒸かすと消失。

↓
結晶からアモルファス(非晶質)状態への
変化。干し芋のべったりとしたデンプンの
分子スケールでの状態。

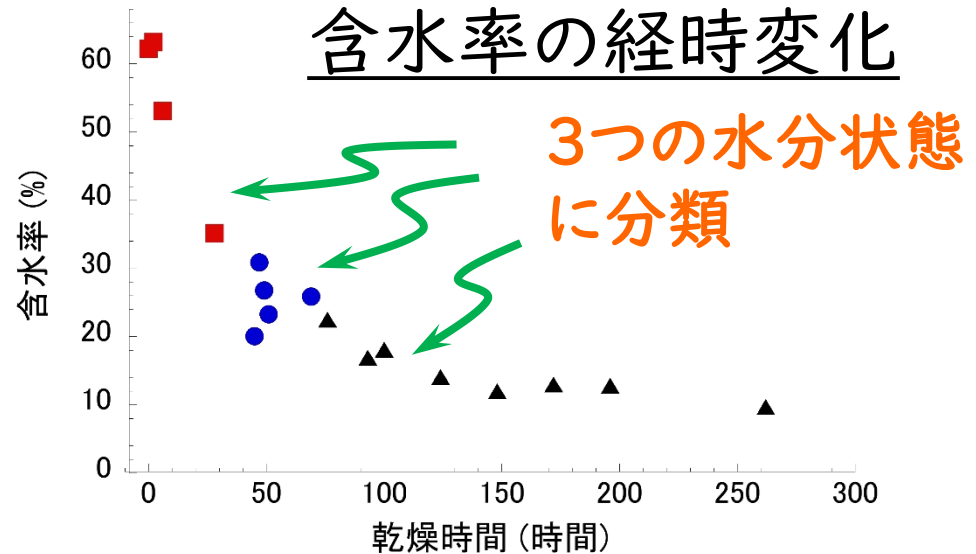


干し芋の乾燥過程



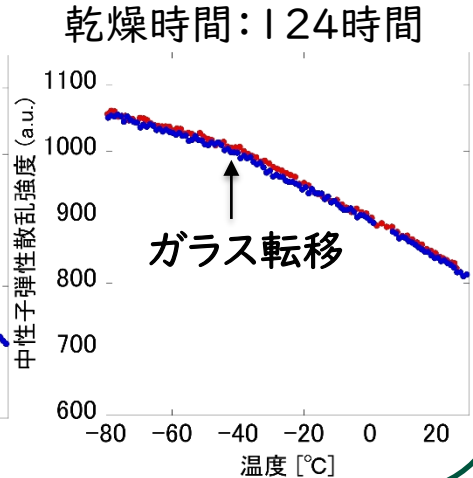
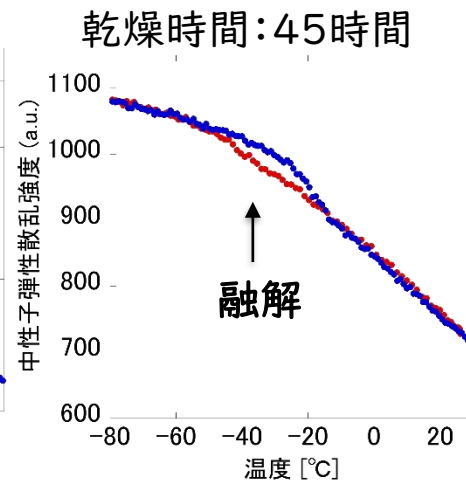
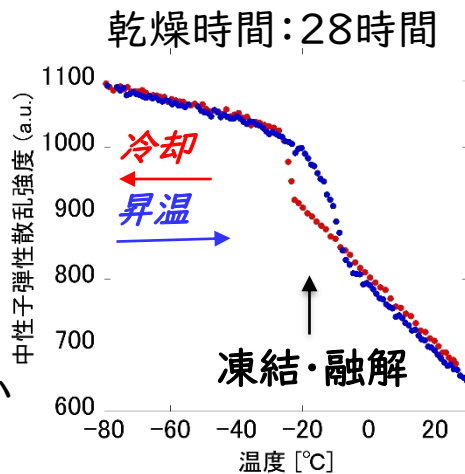
10°C、湿度0%設定

含水率の経時変化

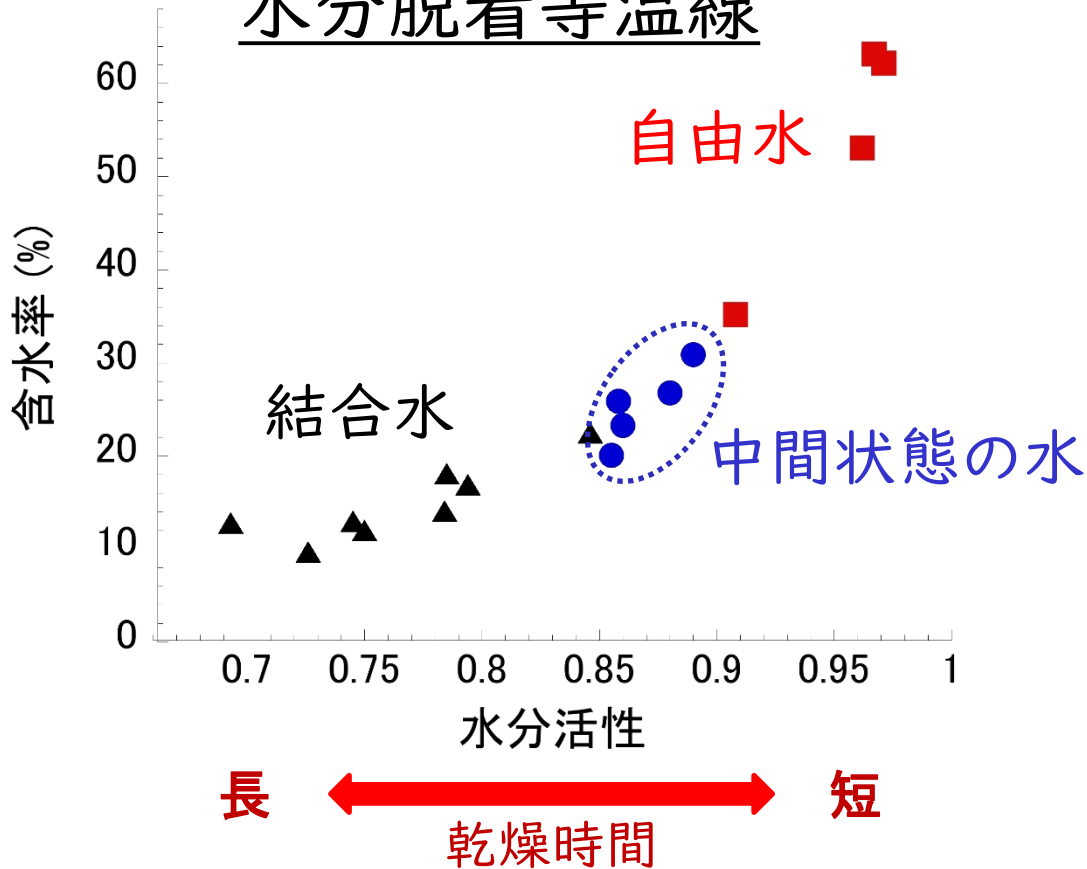


中性子準弾性散乱(温度変化速度:冷却約1.6°C/min、昇温1.0°C/min)

低い ↑ 分子運動 ↑ 高い
 硬い ↑ 食感 ↑ 柔らかい



水分脱着等温線



水分活性

食品の湿度。保存性の指標であり、水分活性値が高いほど微生物が増殖しやすくなり、保存性は低くなる。

中間水分量食品

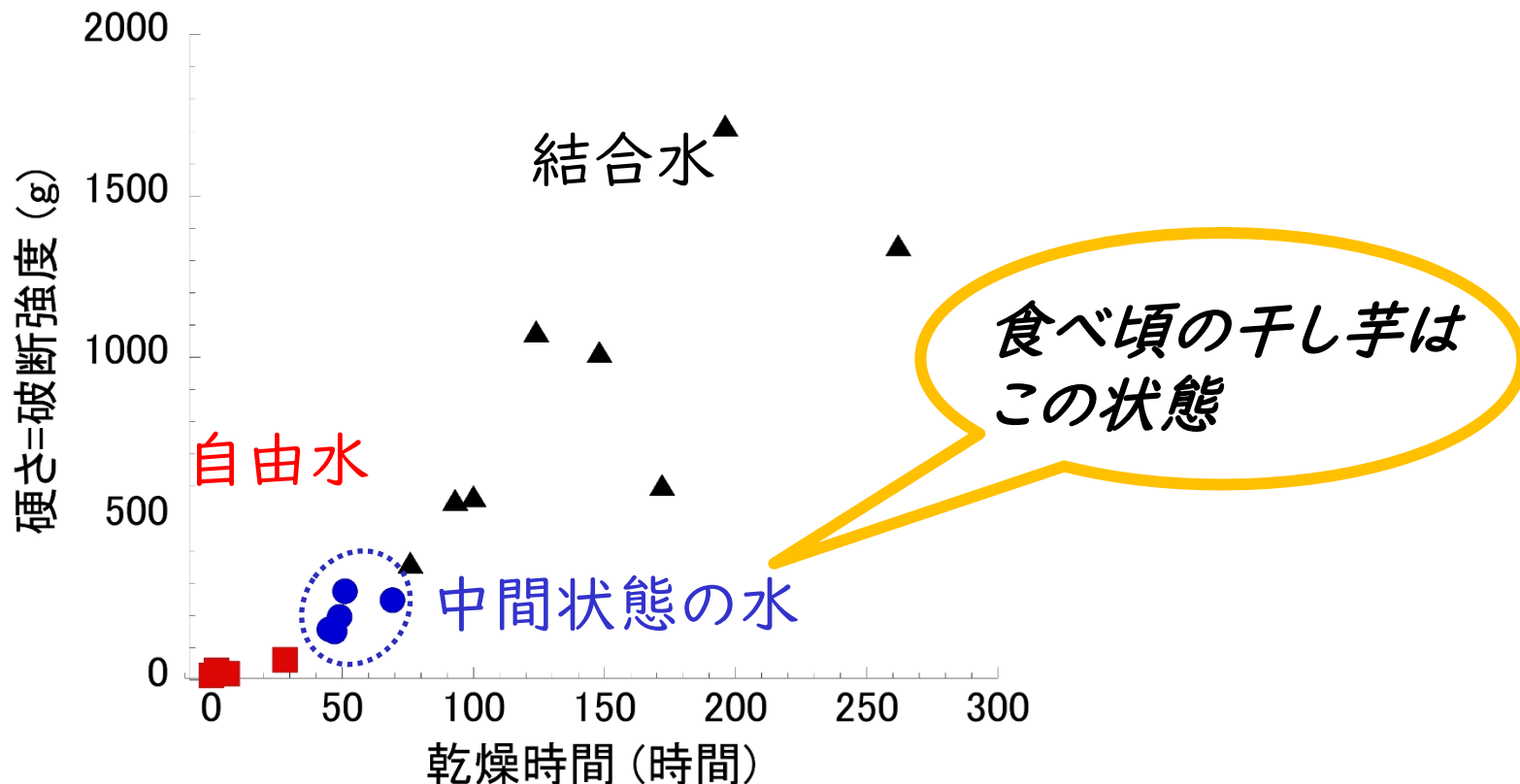
保存性もよく、水分も適度にあって食感も良い食品
例)ゼリー、ジャム、宇宙食、ペットフード



乾燥時間とともに、干し芋の中の水分子が自由水から中間状態の水を経て**結合水**に変化

強度試験

試料に3mm φ 円筒を5mm刺したときの最大荷重

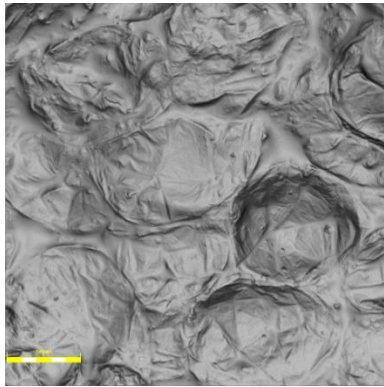


水分子が自由水から結合水になると、干し芋が硬くなる。

科学的に干し芋を食べてみよう!

干し芋のガラス・ラバー転移

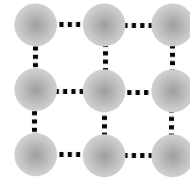
干し芋の顕微鏡写真



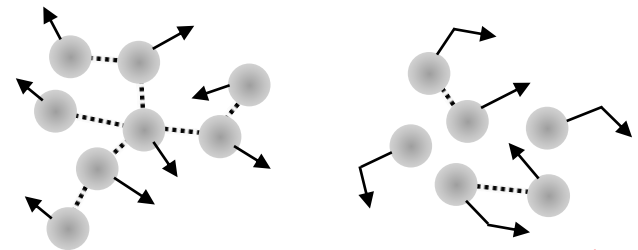
原子の世界を
中性子で観る!

干し芋の原子スケールのイメージ

ガラス状態

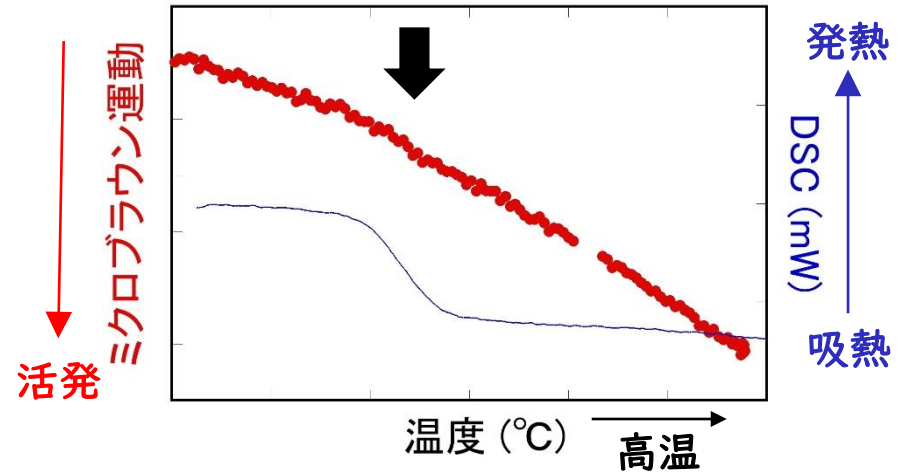


ラバー状態



活発な運動

ガラス・ラバー転移



温めると柔らかくなる

～チューイングガム～



口の中に入れて噛んで
いると柔らかくなる
が、冷水を飲んでガム
が冷えると硬くなる。

- 中性子線は食品のマイクロ構造解析に有効。
- 干し芋の**食感**と**保存性**を制御するには、**デンプンの結晶**や**アモルファスのマイクロな構造**や**水分の状態**を制御することが重要。
- デンプンのマイクロな分子運動は**食感**と関係がある。
- 食べ頃の干し芋は**中間水分食品**の特徴を持つ。



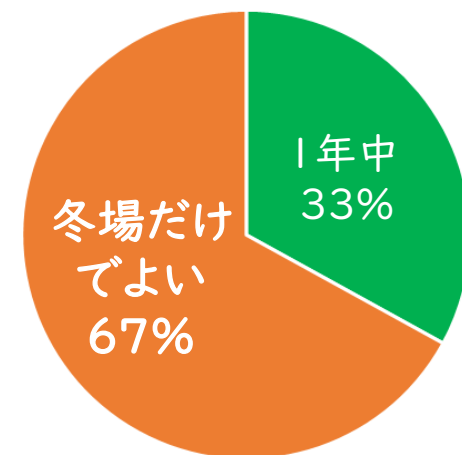
サイエンスカフェでの質問

干し芋が食べられる時期は、
1年中食べられるようになった方がよいでしょうか、
それとも今までどおり冬場だけでよいでしょうか？

その理由：

冬場だけ派：旬(特別感)を感じられる。食の季節感が大事。
夏の暑い日に干し芋を食べない。

年中派：地元の品をいつでも土産に出来る。
エネルギーを使用しない保存法が良い。



キーワード

気候、地域性、食生活、食文化

伝統的な食品加工の知恵と
技を中性子線で解き明かす！



／
研究者に聞いてみた！
＼

Q：なぜ、「干し芋」に中性子を当てようと思ったのですか？
A：干し芋の食感などの品質は水分の状態に左右されます。
水分が多すぎても少なすぎてもよくありません。
中性子線は水を観察するのに優れた実験であるため、干し芋を分析しようという着想を得ました。



午前4:00 · 2023年5月25日 · 1,777 件の表示

中性子は水がよく見える！

食品科学の基礎研究

- ・ミクロ構造
- ・水分の状態



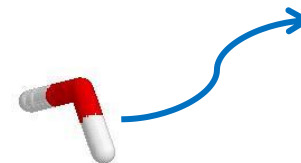
食品の品質

- ・予測する
- ・制御する
- ・デザインする

- 水分子の運動性

拡散定数

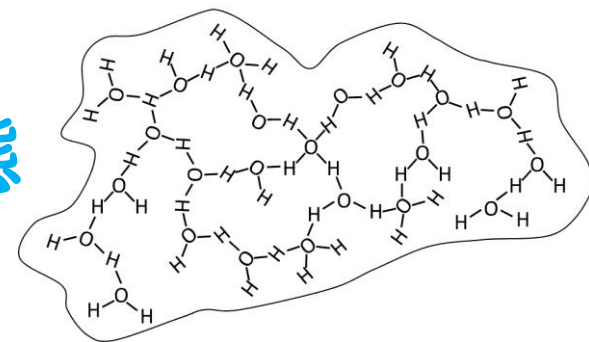
平均自乗変位など



- 水分子・水分子集合の存在状態

水分子のクラスター状態

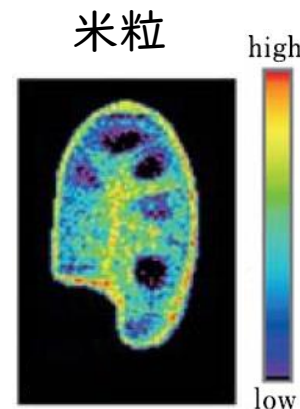
水素結合の寿命など



- 食品中における水の分布

イメージング

日本食品科学工学会誌, Vol.59,478 (2012)
食品の物性に影響を与える水分分布をMRIで観る



日本食品科学工学会誌, Vol.58,505 (2011)
研究小集会「食品と水」開催の趣旨 村勢則郎

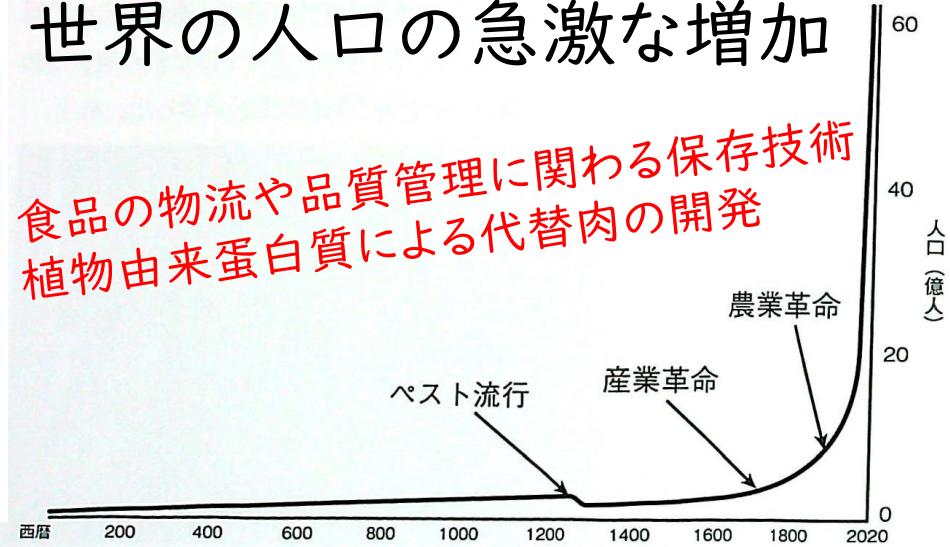
SDGs ~持続可能な開発目標~

世界を変えるための17の目標



世界の人口の急激な増加

食品の物流や品質管理に関わる保存技術
植物由来蛋白質による代替肉の開発



教科書を書き換えるような学術的価値のある研究成果の創出と、食品の加工や品質管理に対する基礎データを提供

↓
食品産業への貢献

日本の食品産業の総生産額:約80兆円(全産業の9%)
就業者820万人(全体の13%)
特徴:地方で高い数値→地域産業に大きな役割

日本食品科学工学会のHPより

食品・医薬品関連分野

学術研究

産業利用

物質科学
中性子科学



食品加工技術
・保存性向上
・食感・食味向上



協奏による食品科学におけるイノベーション創出
→ 中性子利用の基礎研究から社会実装へ
研究を通じた食生活の質の向上で社会貢献

産業界のニーズに応える 原子力機構のオープンイノベーション

JRR-3・J-PARC



食品メーカー・農業関係産業など

社会実装
社会貢献

