ソルト・サイエンス・シンポジウム 2021
「海水・塩・ミネラルの科学　～環境・食・健康の視点から～」
開催について

当財団では，塩に関する学術・その他の情報を広く一般に普及することを目的に，平成 15 年以来“ソルト・サイエンス・シンポジウム”を開催して参りました。そのような中，新型コロナウイルス感染が拡大し，昨年度は開催を中止とさせていただきました。本年度は皆様に会場にご参集いただいての開催を計画しておりましたが，依然感染が収束しないことから，オンラインでの開催とすることといたしました。

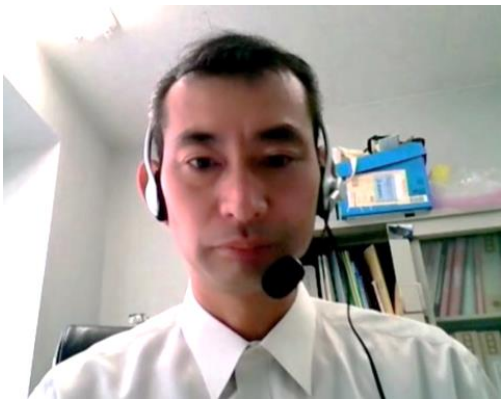
本年度のシンポジウムでは「海水・塩・ミネラルの科学～環境・食・健康の視点から～」をテーマに，Web-そるえんす No20「研究紹介：もっとソルト・サイエンス」で紹介した内容を 3 名の先生方にご講演いただいた動画をインターネットで 11 月 1 日（月）から 7 日（日）までの 7 日間配信し，事前に参加登録いただいた方々にご視聴いただきました。

各講演の概要は以下のとおりです。

１．海水から生まれる資源―新たな海水利用を目指して―

千葉大学大学院准教授　和嶋　隆昌　先生

資源枯渇の課題に挑む海洋資源の有効利用技術開発での取組みについてご講演いただきました。具体的には，レアメタルであるリチウムの吸着剤を用いた回収技術，農業用肥料原料となるリンのジルコン担持活性炭を用いた回収技術，そして農業用水確保のための天然ゼオライトを用いた脱塩技術について紹介いただきました。脱塩技術では生成された水で塩に弱いカイワレダイコンの発育が示され，今後の農業への世界的な貢献が期待される内容でした。



和嶋　隆昌　先生

２．長寿を支える味覚科学

東京大学大学院准教授　三坂　巧　先生

健康な生活を送るためには日々の食生活が大事であり，その維持の秘訣となる「おいしく食べる」ことについて中枢での働きを中心にご講演いただきました。味覚には個人差があり，好き嫌いは，生存に関わる本能的な反応，食べた経験からの行動，胎児期に受けた母親の食事の影響があることを紹介いただきました。また加齢により食嗜好性も変わり，それは生活環境の変化が影響するだけではなく脳機能低下とも関わることをお話しいただきました。

三坂　巧　先生

３．カルシウム・リンと健康

東海大学教授　深川　雅史　先生

深川　雅史　先生

骨の構成成分としてだけではなく各種細胞機能に重要な役割を担うカルシウムとリンの体内血液中濃度の調節機構とその破綻による影響についてご講演いただきました。カルシウムとリンの血液中濃度は副甲状腺，腎臓，腸管，骨の働きで調節されていること，腎機能が低下するとカルシウム量が減少するとともにリン量が増加すること，高リン状態の放置は血管石灰化や寿命に影響を及ぼすこと，そしてリン量の多い食事はおいしいと感じるが取りすぎに注意する必要があることなどをお話しいただきました。

当財団にとっては初めてのオンデマンド配信でしたが，各先生方に分かり易くご講演頂くとともに，それぞれの講演で座長との様々な質疑応答が行われ，配信も無事に終了しました。

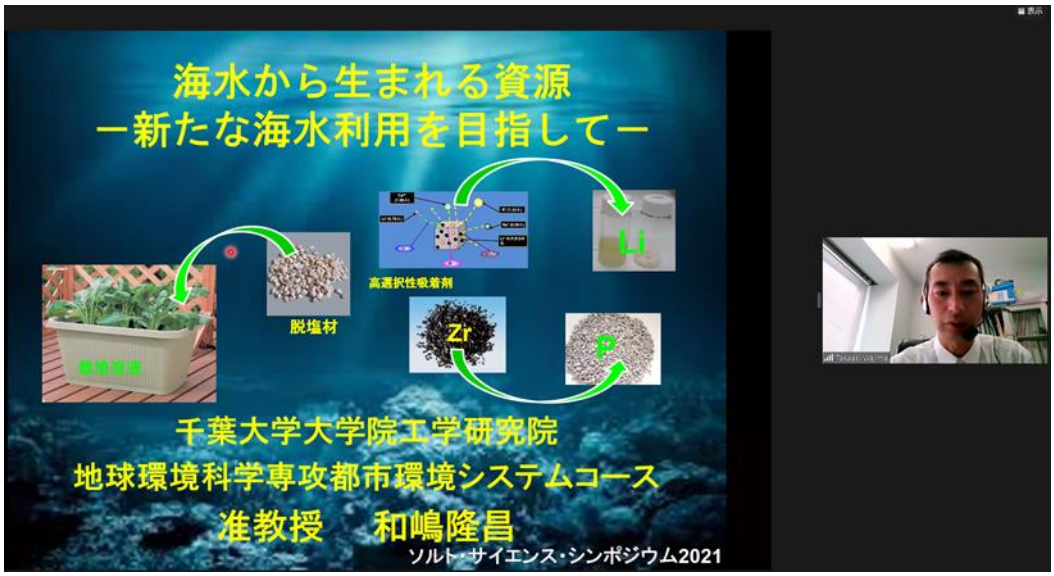
視聴者アンケートでは，「視聴時間を選択でき，聞き逃した個所や意味が掴めなかった言葉を再度視聴することができる」などオンデマンド配信ならではの好評価をいただきましたが，「視聴者からリアルタイムでの質疑応答ができない」，「臨場感がない」，「参加者同士の交流ができない」などオンデマンド配信の限界もあり，会場にご参集いただいての開催と同等のコミュニケーションを図ることは難しいと感じました。

本稿は配信画面の写真や質疑応答を盛り込んだシンポジウム2021の記事となっています。講演要旨は，配信期間中ダウンロード可能な電子媒体（PDF ファイル）として配信サイトに掲載しましたが，それを抄録として掲載し，質疑応答とつながるように編集しております。なお，本シンポジウムの講演要旨については当 Web サイトのシンポジウムのページで改めて公開しております。

講演－1

海水から生まれる資源　―新たな海水利用を目指して―

講演者：和嶋　隆昌（千葉大学大学院准教授）
座　長：斎藤　恭一（千葉大学名誉教授）



1．はじめに

21 世紀において，資源の枯渇という問題に直面し，海洋資源の有効利用技術の開発は今世紀の重要な課題である。特に，資源に乏しく，海に囲まれている我が国では，海水中の資源を効率的に回収・有効利用するためのさまざまな研究が行われてきている。

海水は，約 96.7%が淡水であり，約 3.3%が溶存塩である。その溶存塩のうち約 93.5%が Na，Mg，Ca，K，Cl，S，Br の 7 つの元素で占められている。海水の主成分である淡水の分離・回収，すなわち海水の淡水化は中近東の海水淡水化プラントをはじめ，様々な場所で数多く実用化されている。一方，海水からの溶存資源の工業的規模での回収は，塩化ナトリウム（食塩）およびその副産物である塩化カリウム，塩化マグネシウムなどのマグネシウム化合物，臭素に限定されている。現在まで，海水からのリチウム，ウラン，金，ホウ素などのレアメタルの回収技術に関する多くの研究がなされており，著者も，海水からのリチウム回収や海洋深層水からのリン回収などの研究を進めてきた。しかしながら，海水中に大量に存在しているナトリウム（10.8 g/L）やマグネシウム（1.3 g/L）などの阻害のため，微量のリチウム（0.15 mg/L），ウラン（3.3 μg/L）や金（0.03 ng/L）のみを海水中から分離回収することは極めて困難であり，これらの研究は未だ実用化には至っていない。

一方で，近年の中国やインドを始めとする新興国の経済成長は，エネルギー，鉱物，食糧など，あらゆる資源の確保が困難な状況を生み出しており，さらに，世界的に進行する異常気象や世界人口の増加に伴い，世界各地で深刻な食料・水不足を招いている。

このような中で著者は，海水や塩水を農業に利用するための簡易脱塩材の開発を目指して研究を進めている。海水中の溶存塩は NaCl が約 78%を占めており，この高濃度の NaCl が海水による植物の生育を阻害する。そのため，海水から高濃度の NaCl を簡易に植物が生

育可能なレベルに減少できれば海水の大部分を占める淡水や多くの溶存塩を植物の生育に利用可能になるのではと考えた。そこで，本講演では，新たな海水利用として，食料資源を確保するための海水の農業利用を目指した脱塩材の開発への取り組みの一部を紹介する。

2. 海水の農業利用

地球上に存在する全水資源量は約 13 億 8,600 万 km^3 であり，その中でも海水が約 97.5%と最も多い。残りの約 2.5%が淡水であるが，その淡水の約 70%は南極大陸やグリーンランドなどの世界各地に存在する氷河であり，残りの約 30%もほとんどが土壌中の水分や私たちが利用できない地下水として存在する。そのため，私たち人類が実際に利用可能な淡水は最終的に約 10 万 km^3 で，地球上の全水資源量の約 0.01%にすぎないといわれている。

世界の淡水利用は，灌漑利用：70 %， 工業利用：23 %，家庭利用：7 %であり，日本においても，灌漑利用：66.2 %，工業利用：17.8 %，家庭利用：16.0 %，と農業への利用が最も高い。食料資源は人間が生きていく上で必須の資源であり，その確保は急務となっている。農業における食料資源の生産では，農業用水や耕作地の確保が最も重要な要素である。近年，土壌の砂漠化など水資源の減少が顕著になっており，農業用水が容易に確保できない地域が増加している。水資源不足の解決策として，海水淡水化技術が注目されるが，これらの技術は，主に高純度が要求される飲料水利用や工業用水利用が目的であり，農業利用に対しては高コストな方法がほとんどである。海水は NaCl を高濃度に含むため作物に塩害をもたらすが，他に K・Mg・Ca や微量な Fe など作物に必要な元素を多く含んでいる。そのため，農業用水の場合，海水から多くの溶解物を除き高純度の水を製造する必要はなく，高濃度な NaCl を中心に溶存塩を大幅に除去することで農業用水として利用可能になると考えられる。

現在，厳しい水不足の状況にあるアフリカ・アジア諸国といった地域では食糧不足の問題も抱えている。水資源の確保は食料資源の確保と密接に関係しており，これらの地域で海水や塩水から農業用水が確保されれば，水不足と食糧不足が同時に解決されることが期待される。

3. 天然ゼオライトによる脱塩

脱塩材としては安価かつ豊富に存在する国産天然資源として天然ゼオライトに着目した。我が国の天然ゼオライトは，火山活動によって生じた火山灰が海底や湖底に堆積し，地下深くにおいて高圧下，地熱水の存在により変成して形成された天然鉱物で，北海道南西部から日本海側一帯にかけて分布するグリーンタフ（緑色凝灰岩）中に広く存在している。多孔質で比表面積が大きく構造中に負電荷を持つため，陽イオン交換能，吸着能，触媒能をもつ機能性物質であり，工業触媒，吸着剤，ビルダー（洗剤助剤），乾燥剤，イオン交換剤，さらには排水処理，肥料および飼料添加材など幅広く利用されている。

ゼオライトは SiO_4 と AlO_4 が四面体構造で三次元に連なった構造で Si^{4+} の一部が Al^{3+} に置き換わっているため負に帯電していることから，構造骨格外に正電荷として Na^+，K^+，Ca^{2+} などの陽イオンを交換可能な状態（交換性陽イオン）で保持している。この交換性陽イオンを Ca^{2+} にして硬水中の Mg^{2+} とイオン交換することで硬水の軟水化に利用されている。同様に天然ゼオライトにより海水中の Na^+ を交換性陽イオンにイオン交換することで脱塩ができると考えられる。また，豊富かつ安価に存在する国産天然資源として利用用途の拡大が求められていること，天然素材であるため処理による有害物質の混入の懸念がないこと，も脱塩材として着目した理由として挙げられる。

鉱物種や含まれる交換性陽イオン，陽イオン交換容量が異なる天然ゼオライトを国内 5 か所の鉱山から採取し，海水の脱塩処理を行ってみた。なお，海水は伊万里湾表層から採取した海水を用いている。

海水に対し天然ゼオライトを固液比で 1：10 の割合で添加し 2 時間攪拌した後濾過し，再び天然ゼオライトを添加し攪拌する操作を 10 回繰り返すと，処理海水の組成と pH が，陽イオン交換容量の高い飯坂産モルデナイトと郡山産クリノプチロライトで Na^+ が大きく減少すること，モルデナイトの処理は pH 5-6 とクリノプチロライトの処理での pH 6.8-7.3 よりも pH を酸性にさせること，クリノプチロライトではモルデナイトで減少しない Mg^{2+} も減少するこ

と，がわかった。

次に郡山産クリノプチロライト型天然ゼオライトの交換性陽イオンを Na^+，NH^{4+}，K^+，Mg^{2+}，Ca^{2+}に置換して海水からの脱塩能の比較を行った。調製した置換型天然ゼオライトを用いて上記と同様の操作を5回繰り返した。減少させる主ターゲットである NaCl に着目すると，Na^+ は NH^{4+} ≒ K^+ ≒ Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+，Cl^-は Mg^{2+} ≒ Ca^{2+} > Na^+ ≒ K^+ ≒ NH^{4+}，の順で減少量が多く，結果として Ca^{2+}置換型が最も海水の脱塩に有効であると考えられる。

これらの結果をふまえ，Ca 型郡山産クリノプチロライト天然ゼオライトを用いて，カラムによる海水の脱塩処理を検討した。直径 14 mm，長さ 30 cm のガラスカラムに粒径1 mmの天然ゼオライトを40 g詰め，100 mLの1 M $Ca(NO_3)_2$ 溶液を 10 mL/min で 2 時間循環させた後に $Ca(NO_3)_2$ 溶液を抜き，800 mL の蒸留水を 10 mL/min で流し洗浄を行うことで Ca 置換天然ゼオライトカラムを調製した。なお，Ca 置換天然ゼオライトカラムは同様の操作で 4 本調製した。調製した Ca 置換天然ゼオライトカラムに40 mLの海水を4 mL/minで循環させ，120 min 経過後，処理溶液をすべて回収し pH を pH メーターで塩分濃度を塩分濃度計で測定した。処理溶液は再び新しい Ca 置換天然ゼオライトカラムに同様の操作で循環させた。この操作を 4 回繰り返して測定を行った。海水とカラム処理海水の化学組成，塩分濃度は，カラムの処理回数が増えるにつれて Ca^{2+}濃度のみが増加し，その他のイオンが減少することで，塩分濃度は徐々に減少した。pH は 6.5 付近で一定になる傾向が見られた。

水道水，海水，Ca 置換型カラムで 1 回処理した溶液（Solution-1）と 4 回処理した溶液（Solution-2）の 4 つの溶液を用いて，栽培試験を行った。供試作物にはカイワレ（Radish sprout）を用い，コットンを詰めた容器に種を 10 粒のせ，スプレーを用いて各溶液で種を湿らせ，室温にて 10 日間行った。その結果，海水で発芽が確認されなかったが，Ca 置換型天然ゼオライトカラムで処理した海水では発芽か確認され，1 回処理の Solution-1 より 4 回処理の Solution-2 の方がよく発芽しており，水道水とほぼ同様の様子が観察された。

以上の結果より，天然ゼオライトを用いて海水を農業利用可能なレベルに脱塩処理できることが明らかになった。

4. 塩害土壌への適用を目指して

現在，塩害は世界の農業生産を減少させる主な要因の一つとなっている。灌漑水や地下水への海水の混入，塩化ナトリウムなどの塩類の土壌中への蓄積や，台風などの強風による海水を含んだ海風の内陸への入り込み，など植物の生育が過剰の塩類によって阻害されることを塩害という。日本で発生した塩害事例の多くは，台風や高波による海水の流入，海岸近くの防風林の除去による海水の飛散，ハウスなどの施設栽培での肥料成分の土壌蓄積などによる農作物の生育阻害，などである。一方，地球的規模では，乾燥・半乾燥地域における地表面からの過度の蒸散による土壌表層への塩類集積，作物生産や飲料水確保のための不適切な灌漑による地表面への塩類集積，などが主な原因として挙げられる。土壌塩類化は自然および人為的要因によってもたらされる環境問題であり，現在，世界の農地の 1/5 が塩の被害により塩害土壌となっているといわれている。このような土壌塩類化にともなう農業生産量の低下は世界各地で起こっており，これからの人口増加に対応する耕作地の確保のために除塩技術が求められている。

従来の塩害土壌からの除塩技術は，主に土壌の透水性を良くして過剰な塩分を天水で流し出す方法である。地表面排水や暗渠排水が挙げられ，大量の水にてリーチングする方法などがある。しかしながら，大量の水の確保，大規模な工事，適切な管理が必要となるため適用できる場所は限られる。一般的には，化学的手法を用いる場合が多く，例えば石膏（$CaSO_4{\cdot}2H_2O$）を施用することで，土壌粒子表面に吸着していた Na イオンを Ca イオンで交換させ，Na を中心とした塩類のリーチング，さらに，亀裂が生じることで透水性や通気性が回復し，その結果植物の植生が回復することにより土壌粒子の団粒構造が徐々に復活し改良される。利用される改良剤としては，塩化カルシウム，天然石膏，リン酸石膏，脱硫石膏，あるいは比較的溶解度の低い炭酸カルシウムがある。石膏はオランダですでに 1945 年に海水が氾濫した際の土壌改良に用いられている。石膏の主成分である $CaSO_4$ と塩化ナトリウムを混ぜると以下の反応が起きる。

$2NaCl + CaSO_4 \rightarrow CaCl_2 + Na_2SO_4 \downarrow$

この反応により塩害の原因である NaCl を溶解度が低い硫酸ナトリウムにすることで，植物への影響を減少させる。しかし，土壌の回復には $CaCl_2$ とともに最終的には流し出す必要があり，降水量などの天候によって大きく左右されること，降水量の少ない乾燥地帯や半乾燥地帯などでは効果が見込めないこと，農業利用できるレベルまで除塩するためには雨季を含めて長い時間を要すること，などの要因から塩害土壌の農業利用のための早期回復には不向きである。

そこで，著者は天然ゼオライトと層状複水酸化物を用いた新たな塩害土壌改良材を検討している。粘土鉱物の一種である層状複水酸化物（Layered double hydroxide: LDH）は陰イオン交換能をもつことから陰イオン性粘土や anionic clay とも呼ばれており，一般式は $[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_{x}(OH)_2]^{x+}\cdot[(A^{n-})_{x/n}\cdot mH_2O]^{x-}$ (M^{2+}:2 価の陽イオン，M^{3+}:3 価の陽イオン，A^{n-}:n 価の陰イオン)で表される複水酸化物である。数少ない無機陰イオン交換体であり，2 価の陽イオンと 3 価の陽イオンの水酸化物からなるホスト層と，陰イオンおよび水分子からなるゲスト層が交互に積層した層状構造を持つことが特徴である。水酸化物基本層は 2 価金属イオンの一部を 3 価金属イオンが置換することにより正電荷をもち，その電荷を補うために中間層へ陰イオンと水分子を取り込み，電気的中性を保持している。焼成処理により焼成層状複水酸化物にすることで酸化物になり，水溶液中で陰イオンを中間層に取り込み層状複水酸化物の構造を再構築する性質を持ち，その性質を用いて様々な液中の陰イオンの除去が研究されている。塩害土壌中で天然ゼオライトによる Na^+，焼成層状複水酸化物による Cl^-の捕獲を行うことができれば，処理土壌での植物の育成が可能となり，捕獲された Na^+と Cl^-は施肥の際にゼオライトと層状複水酸化物からのイオン交換で植物に影響しないレベルで徐々に放出され，肥料を保肥できる可能性が期待できる。

海水を 500℃で焼成したハイドロタルサイトで処理し，その後天然ゼオライトで処理した海水を用いてカイワレの栽培を行った。海水，焼成ハイドロタルサイトで処理した海水(CHT-solution)，さらに天然ゼオライトで処理した処理溶液(Final-solution)の化学組成とそれぞれの溶液を用いて 10 日間栽培したカイワレの様子を観察した。焼成物の処理により海水の pH が増加し陰イオンである Cl^-と SO_4^{2-}が減少し，Mg^{2+}も減少した。焼成物の再構築反応で海水中の陰イオンを取り込み OH^-を放出するため pH がアルカリ性になり，そのため Mg^{2+}が水酸化物として沈殿し減少すると考えられる。さらに天然ゼオライトで処理をすると pH が減少し，Na^+と K^+も減少し，Mg^{2+}と Ca^{2+}が増加した。これは，天然ゼオライトの陽イオン交換により，Na^+が取り込まれ H^+や Mg^{2+}，Ca^{2+}が溶液中に放出されるためと考えられる。カイワレは，海水と CHT-solution では発芽が確認されなかったが，最終処理液ではカイワレの発芽が確認された。このことから，天然ゼオライトと焼成層状複水酸化物で栽培可能な脱塩が行えることが確認できた。

現在，ハイドロタルサイトは Mg-Al 型層状複水酸化物で高価であるため，安価な Ca-Fe 型層状複水酸化物を合成し，天然ゼオライトと安価な Ca-Fe 型層状複水酸化物の焼成物を組み合わせた処理で海水から農業利用可能な処理液を得ることに成功している。今後，捕獲した塩分の放出挙動や模擬塩害土壌における研究を進めることで新たな脱塩材の開発を目指す。

5. おわりに

天然ゼオライトを中心に海水を農業利用可能なレベルに処理する技術を検討し，その可能性を見出してきた。現在，天然ゼオライトの海水中での脱塩メカニズムや焼成層状複水酸化物との相互反応機構などを検討している。今後，これらの知見をもとにして，海水からの高効率脱塩材や脱塩プロセスの設計，最終的には即効性のある塩害土壌改良材の開発へ繋げていきたい。

質疑応答

【斎藤】限られた時間で豊富な内容をご紹介いただきありがとうございました。それでは，質問・議論をしたいと思います。まず，天然ゼオライトによる脱塩水の農業用での利用についてですが，なぜカイワレを使用されたのでしょうか。先生の作られた水に適したもっと塩分に強い農作物はあるのでしょうか。

【和嶋】そういう植物もありますが，カイワレを使用した理由は 2 つあります。一つは，カイワレは塩分に弱い植物であり，カイワレが育てば多くの植物が生育すると予想できるからです。もう一つは，カイワレは生育が早く 10 日ぐらいで育ち実験がしやすいとの点があります。

【斎藤】他の作物についても先生が作られた脱塩水で生育することは確かめられたのでしょうか。

【和嶋】はい，手元に入るもので実施し，カイワレが育つようなレベルだったらだいたいが発芽しました。

【斎藤】この技術は全国的に特に海の近い地域では有用と思いますが，その利用を広めるため農業試験所等に働きかけは行っているのでしょうか。また，花栽培への応用等でオランダなど海外でも広めていけるのではないでしょうか。

【和嶋】私が所属する大学のある千葉県では花卉農家も多く，また主要農作物の落花生も塩害被害が多くなっていると聞いているので，そういうところとの協業を進められないかと考えています。ただ，そのためには検討件数がまだ少なく，もっと知見を集めることが必要です。

【斎藤】こういう時代ですので遺伝子組換え技術で塩分に強い作物を作るという方向性についてはどうお考えになりますでしょうか。

【和嶋】海水に強い植物のアイスプラントの研究などが行われています。海水を少し希釈することで育つ植物もいくつか発見されており，一つの有用策と思います。

【斎藤】前半にお話しのあったリンは資源として不足しているとの状況もあり，その回収技術は重要ですが，先生の技術で使われる活性炭に担持させるジルコンの供給について，資源量やコストなどで課題はないのでしょうか。

【和嶋】コストが高いのが難点です。ジルコンサンドという鉱石からのジルコン抽出にエネルギーが必要でそれが価格を上げています。一方，ジルコンサンド自体の価格は安いことからジルコンサンドを使用して少ない処理で選択的な吸着材が作製できないか検討しています。

【斎藤】海水からのリチウム回収は現行のリチウム供給に対抗可能なのでしょうか。南米のウユニ塩田のようにもともと濃縮されたリチウムもあり，それらとの競争のなかで検討されている技術の将来展望をどのようにお持ちでしょうか。

【和嶋】鉱山から採取されるリチウムとの勝負は厳しいかと思います。一方，日本ではリサイクルされる電気自動車のバッテリーの溶解液等のいわゆる都市鉱山があり，これらからの回収に開発している吸着材が利用可能と考えています。

【斎藤】ありがとうございました。これで和嶋先生のご講演を終わりたいと思います。

講演－２

長寿を支える味覚科学

講演者：三坂　巧（東京大学大学院　准教授）
座　長：駒井　三千夫（東北大学名誉教授）

1．はじめに

我々人間を含む動物は，エネルギーや必須栄養素を補給するため，毎日食事をとらなければならない。どのような栄養素を，一日当たりどれくらい摂取すべきかという指針については，厚生労働省から「日本人の食事摂取基準」という形で示されている。約 5 年に一度，改訂が行われており，現在の最新版は 2020 年版となっている。これまでの科学的調査に基づき，エネルギーや各種栄養素について，年齢別に摂取量基準が掲載されている。

この指針の中では 70 歳以上の高齢者向けの注意点として，食欲低下に起因する栄養不足が，老化に伴う虚弱や筋肉量減少につながってしまうことが危惧されている。その意味からも，食べ物を毎日おいしく食べることは健康維持に重要であり，味覚やおいしさに関する研究は，長寿を支える上で切っても切れない関係にあるといえよう。

2．食べ物の「味」が示す意味

口の中で感じる食べ物の味は，動物において生きていくために必要な感覚であると考えられている。なぜなら，目の前にあるものが食べられるかどうかを決める上で，口の中で感じる味覚が最も重要な判断指標となっているからである。もちろん，見た目や匂いといった情報も食べ物の価値を決定するのに使われるが，食べ物を飲み込むかどうかという最後の砦となっているのが，味覚による判断なのである。

食べ物の味は主に，口腔内の舌上皮に存在する専用の細胞で感じている。味を感じる細胞は味細胞とよばれ，味細胞が数十個集まった特殊な器官である味蕾（みらい）が，舌の上皮などに存在している。味細胞では基本味に分類される甘味・酸味・塩味・苦味・うま味の 5 種類の味を識別し，それぞれの味が含まれていることを検出しているのである。

この 5 種類の味は，本能的に食べるべきかどうかを判

断するための大きな指標となっている。一般的にはおいしいと感じるものには生体にとって有用なものが，まずいと感じられるものには有害なものが含まれている可能性がある，と理解することができる。

例えば，甘味を示すものにはエネルギーが，うま味を示すものにはタンパク質が含まれているので，我々はこれらを好んで食べる。その一方で，強い酸味や強い苦味はそれぞれ腐敗物や毒物のシグナルとなるため，好まれないことが多い。塩味についてはミネラルの存在を検知するための味覚であるため，薄い塩味は好まれる味となる。その一方で，海水のような濃い塩味はナトリウムの摂りすぎになってしまうため好まないという，特徴的な現象を示す味質である。

さらに，人間は基本味以外の味も感じることができ，渋味や辛味やといった味が基本味以外の味として分類されている。これらは広い意味では味に分類されるが，味細胞で受け取られないという特徴から基本味以外の味として取り扱われている。

3．食べ物の「好き嫌い」

上記のように，食べ物の味には嗜好・忌避のシグナルが潜在的に含まれているため，例えば甘い食品が好まれ，苦い食品が嫌われるといった現象は，本能的なものであり，なかなか避けることはできない。実際，人間の乳児を用いた昔の研究報告によると，母乳しか飲んだことのない赤ん坊であっても，初めて口にする砂糖水は喜んで飲んでくれるのに対し，生まれて初めての経験である酸っぱいもの・苦いものに対しては泣きながら拒絶するという行動を示すことが記されている。

それにもかかわらず，食べ物の好き嫌いは，個人ごとに大きく異なっているのが一般的である。ピーマンやセロリといった味の強い野菜もみんなが嫌いなわけではなく，好きな人も見受けられる。酸っぱい酢の物も，同じように好きな人も嫌いな人もいる。いったいどうして，このような現象が生じてしまうのだろうか。

4．食経験がもたらす嗜好・忌避行動

この原因の一つになるのが，それぞれの人達が，生まれてから今までに何を食べてきたのかという，食に関する経験である。以前に経験した味覚刺激がその後の嗜好性にも影響を与えるといったことは感覚的にも理解できるが，学術的な研究論文でも，そのような知見が実証されている。

例えば，米国で行われた乳児を対象とした臨床研究では，塩味の嗜好性変化に関する調査結果が提示されている。生後 2 ヶ月，6 ヶ月の時点で来院してもらい，乳児の塩味に関する嗜好性試験を実施し，その結果を 2-6 ヶ月の間の離乳食の食履歴によってグループ分けできるかどうかについて解析を実施した。その結果，離乳食として塩分を比較的多く含むクラッカーやビスケットなどの食品を食べたことがある乳児においては，生後 6 ヶ月の時点で濃い食塩水を有意に好むという結果が得られたのである。

濃い味付け以外にも，辛い食べ物が異常に好きになってしまうようなことにも，小さい頃の食経験が関与している可能性は十分にある。成長後に健康的な味付けを好むようになるには，いつどのような味を味わうことが良いのかということについては，当然ながら統一的な見解は得られていない。しかしながら，少なくとも，小さい頃の食事というのが嗜好性を変更させる一つの要因であることは間違いなく，一体何が生体に起きているのか，ということを科学的に示していくことが必要であると，筆者らは考えている。

5．食事刺激がもたらす中枢の変化

生まれてすぐの時期には，脳内における様々な神経回路網が刺激依存的に変化・発達することが知られている。感覚刺激についても同様であり，小さい頃に言語学習や絶対音感が特によく身につくというのも，その一つの例である。食事を摂取した際に生ずる口腔内の刺激についても，神経回路の変化をもたらす一つの要因になると考えられたため，離乳期のマウスを用いて，摂食刺激がどのような変化を脳内にもたらすのかについて，我々のグループで解析を行った。

実験室で飼育しているマウスは，生後すぐの時期は母乳を飲んで育つが，生後約 3 週間もすると大人と同じ固形食を食べるようになる。つまり，実験室のマウスにとっては，一生を通しての食事がミルクか固形食かの 2 択しかない場合もあるといえよう。したがって，食事が大きく変化する離乳期の時期には脳内の味刺激を処理するよ

うな領域でドラスティックな変化が起きる可能性があると考え，それを検証する実験を実施した。

詳細な実験条件についてはここでは割愛するが，予想通り，離乳期のマウスにおいては固形食を摂取することにより，中枢で味覚に関する情報処理を行う大脳皮質の味覚野近傍において，マーカータンパク質の蓄積量が，顕著に増加することが見出だされたのである。この結果は，食事の刺激が味覚の情報処理を担う神経回路の発達を顕著に促すことを示唆するものであり，小さい頃の食事が脳を変化させうるという科学的エビデンスにつながっていくものであると予想される。

6．加齢に伴う食嗜好の変化

食事に関する嗜好性の変化は小さい頃しか起きないのではなく，成長後にも嗜好性は大きく変化することもある。子供の頃に好きだった食べ物と，大きくなってから好きな食べ物が異なっているのは珍しいことではなく，いつの間にか苦手だった食べ物を克服している場合もある。一方，加齢によっても，味覚の感受性や食の嗜好性が変化することも経験的に知られている。年とともに脂っこい食べ物が苦手になったり，塩味の濃いものを好むようになったりするが，その科学的な要因は実はあまり明らかになってはいない。

その要因の一つとしては，高齢者に共通してみられる身体面・精神面におけるいくつかの特徴が挙げられる。身長や体重の減少により消費カロリーが少なくなると，それに伴い食欲も低下し，サルコペニアという老化に伴う筋肉量の減少といった症状も見受けられるようになる。また様々な疾患に伴って薬剤を服用することも多くなるだけでなく，特に免疫機能の低下には注意が必要となる。精神面においても，生活環境の変化などによって孤独感を抱きやすくなったり，認知機能の低下が顕在化するなど，様々な特徴が現れてくる。

このような特徴が味覚の感受性や嗜好性変化に影響するのかしないのか，という点について，我々はいくつかのモデル動物を用いた検証を実施している。ライフステージの違いに着目した高齢マウスや加齢促進モデルマウスを用いた嗜好性変化の解析や，病態モデルマウスを用いた疾病状態と嗜好性変化の相関など，いくつかの解析を実施しているものの，どのような因子が嗜好性変化に強く影響するのかという結論を得るには至っていない。ただし，高齢マウスにおいて特定の味質の感受性が有意に低下したり，抗認知症薬の投与によって味覚感受性の変化が認められるなど，実際の人間における現象を反映していると考えられる結果も得られている。

7．おわりに

健康な生活を送るためには，日々の食生活が重要になってくるのは言うまでもない。「おいしく食べて健やかに」ともいわれるように，毎日の食事をおいしく食べることは，長寿への秘訣の一つと言っても過言ではない。

ただ，おいしければそれで構わない，というのも正解ではないのが難しいところでもある。年をとると少し濃いめの塩味がおいしいと思う人が増える一方で，一般成人が毎日摂取する食塩の平均摂取量は，「日本人の食事摂取基準」に記載されている摂取目安の約 1.5 倍にもなってしまっている。塩味を薄くすると味気なくなりおいしくなくなってしまうこともあるが，おいしさだけを優先してしまうと，とんでもない量の食塩を摂取することに繋がってしまうことが危惧される。おいしさと減塩とを両立するには，これまでになかったような革新的な技術の提案が望まれているのである。

このように塩味一つにしても，食のおいしさに関する学術的な疑問は実は多く残されている。そのような課題の解明へ向けた研究を，今後も進展していきたいと考えている。

質疑応答

【駒井】三坂先生，大変興味深いご講演ありがとうございました。本日のご講演では味覚のシグナルが健康維持に大きくかかわっていることや，加齢した場合にも脳機能などを介して味への影響があること，さらに，アルツハイマー病発症との関連についてお話をいただきました。せっかくの機会ですのでいくつか質問をさせていただきたいと思います。最初に，個人ごとに味の嗜好性が違うことについて，苦味についてはヒトの遺伝子多型の研究もされているかと思いますが，食塩の摂取について，本態性高血圧に関わる遺伝子の違いなど遺伝子多型の面から，栄養指導についてお考えがありましたら教えていただきたいと思います。

【三坂】ヒトが持っている遺伝子というのは，個々人の疾病や健康状態に影響を与えて，例えばある家系が高血圧の家系であるとか癌の家系であるなど，持っている遺伝子の型（遺伝子多型）が関連する場合があり，塩味に関しても，同じ量の塩味をとっても高血圧になりやすい遺伝子の型というのはあると思っています。それぞれの人がどんなリスクの遺伝子を持っているかを調べて，パーソナルフードといったそれぞれの人に向いた食の提案・指導ができると良いのですが，まだまだ個人の遺伝子を調べるには費用がかかってしまうことと，その人が持っている遺伝子型に応じて，「あなたにはこういう食事が適していますよ」といったことを提案するためのデータが非常に少ないと思います。将来的には，高齢になった時の健康のリスクを減らせる個々人への食事の提案が出来るようになる時代が，きっと来るのではないかと思っていますが，現状はちょっと難しいかなと思っています。

【駒井】次に，妊娠中にお母さんが食べた食品の味と匂いが胎児に影響しているというお話がありました。これは生まれた子供が大きくなってもだいぶ影響を受けるのかと思いますが，その辺について健康との関りで具体例などがありましたら教えていただけますでしょうか。

【三坂】お母さんが受けた刺激で子供が影響を受けることについては，例えば，お母さんが妊娠中に使っていた柔軟剤の匂いをその子供は好むようになることが期待され，その結果，大きくなってからずっとそのメーカーの柔軟剤を使うことにつながるような話にも展開していくので，企業の方にはすごく興味を持っていただけます。塩味についてはあまりデータを持ち合わせていませんが，甘味に関しては，飲料メーカーの方に伺うと母親の影響を受けていることを示す現象が今見えています。例えば，炭酸飲料の砂糖の甘味と，人工甘味料の甘味を比べると，昔は砂糖がおいしいと判断される方が多かったはずですが，最近の若い方は味の違いが分ったうえで，人工甘味料の方が好きな方がずいぶんいらっしゃるようなんです。これは妊娠中のお母さんが体重制限をする中で，ゼロカロリー飲料というものを飲まれ，知らず知らずのうちに人工甘味料をおなかの中で味わっていたことも関係しているのではという気がします。

【駒井】アルツハイマー病の原因としてはアミロイド β が蓄積すること，血流量が少なくなること，そして神経組織が傷害されることの3つのファクターを考えなければいけないようです。例えばアミロイド β を増やさない薬で1点にフォーカスするよりも，食べ物に含まれる食品成分で総合的に抑制し痴呆にならないように出来ないかとの考えもあるかと思いますが，この点についてはいかがでしょうか。

【三坂】高齢者の認知機能の低下は全世界の問題であり，薬ではなく食品で効果があるものを探して長期に食べることで発症を少しでも遅らせられればと考えています。本日ご紹介した，ココアのフラバノールの認知機能改善についてのように，著名な学術雑誌に載るような結果も報告されてくるようになりました。日本でも機能性表示食品で，高齢に起因する認知機能や記憶量の低下を防ぐ食品というのは出てきていますので，そういったものの中から認知機能発症の確実な遅延が期待されるものが出てくればと思います。健康的な食事をするためにも，認知機能を低下させず，正常な味覚機能や味覚の感受性を保つことは非常に大事であり，そこにつながる物質や現象を少しずつでも科学の視点から提案出来ればと考えています。現時点では原因には行きついていませんが，高齢と味嗜好性の変化の間を繋ぐような現象もしくはメカニズムを少しでも解明できたらと思ってます。

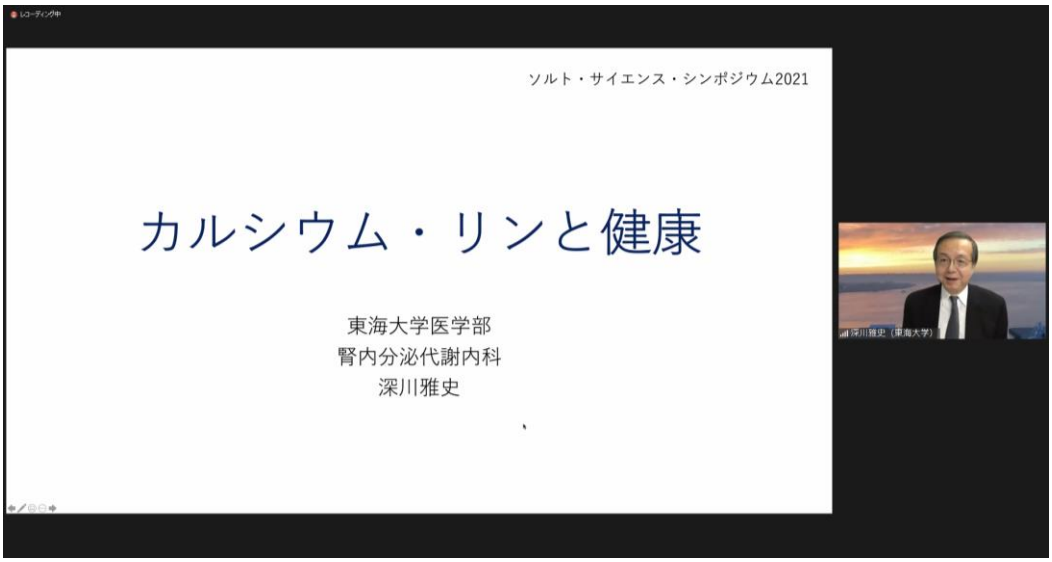
【駒井】ありがとうございました。時間が来ているようでございますので，このあたりで三坂先生のご講演を終了とさせていただきます。どうもありがとうございました。

【三坂】ありがとうございました。

講演－３

カルシウム・リンと健康

講演者：深川　雅史（東海大学　教授）
座　長：菱田　　明（浜松医科大学名誉教授）



１．身体の中のカルシウム・リンはどこで何をしているか？

身体の中にあるカルシウム，リンはどこにあるかといえば，間違いなくすべての人がまず骨を思い浮かべるだろう。確かにその多くの部分は骨に存在し，ハイドロキシアパタイトとして硬い骨格を形成している。カルシウムもリンも，腸から正味吸収された分が，尿中に排泄されることで，身体の出納バランスを保っているが，その他に，骨から出てくる分と骨に入る分も，正常ではバランスが保たれている。

血液中のカルシウム（イオン）濃度は一定に保たれていて，細胞の機能に大切な膜電位を保持している。一方，細胞内には血中の１万分の１しかカルシウムは存在しないが，細胞の中で情報を伝えるセカンドメッセンジャーとしてホルモンの分泌，筋肉の収縮，酵素の活性化などを調節する重要な役割を果たしている。

リンも同様にほとんどが骨と軟部組織に分布しているが，細胞外液中にも存在する。細胞では，細胞膜の重要な構成成分として，細胞内ではDNA，RNAの構成成分として，またカルシウム同様，細胞内セカンドメッセンジャーとしても働いている。

２．環境の変化と進化にどう対応してきたか？

細胞の中と外では，イオンの組成が異なる。外にはナトリウムが，中にはカリウムが多く，細胞の中は生命が誕生した頃の海の組成を引き継いでいるのではないかと考えられている。それでは，カルシウムとリンについてはどうだろうか？

海水のカルシウム濃度は体内より高く，リンは乏しい。そこで，海棲動物では，身体からカルシウムを出す機能が発達しており，カルシウムを下げるホルモンであるカルシトニンが備わった。

その後，骨格を備えた生物は，海水からカルシウムの少ない淡水へ，そして陸上へと進出し，生活環境が変わってきた。そこでは細胞外液中のカルシウム（イオン）濃度は放っておくと下がってしまうため，これを維持する仕組みが必要となった。そのシステムでは，骨はカルシウムの貯蔵庫，そして供給源として働くことになる。

3．カルシウムとリンはどのように調節されているか？

ヒトの体内のカルシウム・リンの調節機構は，副甲状腺，腎臓，腸管，骨のネットワークで構成されている。活躍する重要なホルモンは，副甲状腺ホルモン（PTH），腎臓で活性化されるビタミン D である。

細胞外液中のカルシウム（イオン）濃度が少しでも低下すると，副甲状腺細胞のカルシウム感受受容体がそれを検知し，副甲状腺ホルモン（PTH）が分泌される。PTH は骨に働き，そこからカルシウムとリンを血中に動員する。PTH は腎臓に働き，カルシウムを保持するとともに，リンの排泄を促進し，カルシウム濃度だけを有効に上昇させる。同時に PTH は腎臓におけるビタミン D の活性化を促進するので，そこでできた活性型ビタミン D が腸管に働き，カルシウムの吸収を増やすことになる。このようにして，元のレベルに血中カルシウム（イオン）濃度が戻ると，PTH の分泌は抑えられる。

人においては，カルシトニンの役割は特別な場合以外は大きくない。一方，最近では骨から分泌されて腎臓からリンの排泄を促進する FGF23 という新しいホルモンも注目されている。

4．腎臓が悪くなるとどうなるのか？

腎臓は 2 個あり，糸球体と尿細管を備えたネフロンを片方に 100 万個有する。腎臓の予備能は大きく，腎機能が悪くなったときには，残ったネフロンが頑張って，身体に入ってきた物質を尿中に排泄する。

腎機能が少し落ちると，まず骨から FGF23 が分泌されて，ネフロンあたりリンの排泄を増やす。進行すると，次に解説する活性型ビタミン D が低下してカルシウムが下がり，それに対して分泌される PTH が，さらにリンの排泄を促進する。それでも十分排泄できないほど腎機能が低下して初めて血中のリンが上昇してくるが，身体の中の異常は初期から生じているのである。

このような異常が継続すると，血中に Calciprotein という物質が形成され，それが腎臓の障害や血管の石灰化につながることが最近明らかになった。このプロセスを阻害するには，もう一つのミネラルであるマグネシウムが大切であることもわかり，注目されている。

また，透析患者のように長期に腎不全状態にあると，PTH の分泌が継続するために，元々，米粒大の副甲状腺が著明に腫大し，PTH の分泌が調整不能になることも大きな問題となっていたが，幸いなことに，新しい薬剤の開発により，手術を要するような重症例は少なくなりつつある。

5．食事の中のカルシウム・リン

日本人は欧米人に比べるとカルシウムの摂取量が少ないが，これは乳製品を食べる量の差で説明されて来た。これに加えて，カルシウムの腸からの吸収に関わるビタミン D 欠乏も大きな役割を果たしていることが知られている。ビタミン D は，食事中から摂取するか，紫外線により皮膚で合成される。その後，まず肝臓で，そして最終的には腎臓で活性化されて働く。欧米では牛乳やジュースにビタミン D が強化されているが，我が国ではそれはない。また，最近日焼け止めが多用されていることも影響している。さらに，蛋白尿の著しい腎臓病患者では，尿中に失われることも知られている。

さて，海水中にはカルシウムは豊富だが，リンは乏しい。しかし，1 で述べたように，リンは生命活動に不可欠であるため，我々の先祖は，他の生物を捕食することでリンを得るようになった。リンの多い食事を我々が美味しく感じるのは，どうも身体にその記憶があるかららしい。人のリン摂取の許容量は，極めて大きく，多量にとっても尿中に出て行ってしまうが，これは腎臓が悪い人の場合には問題となる。

食物中のリンの制限ついては，以前は蛋白質の制限によって行われていたが，極度の蛋白制限は低栄養につながるため，考え方が変わりつつある。食物中のリンは無機リンと有機リンに別れる。無機リンは，容易に吸収されるが，有機リンはそれを含む蛋白質から切り離される必要がある。植物由来の蛋白質では，ヒトにはリンを切断する酵素が腸管にないため，同じ量のリンを含む動物由来の蛋白質よりリンの吸収は少ない。これに加えて，

種々の食品に使われている添加物由来の無機リンが大きな問題になっている。これらは，無機リンであるためほとんど吸収される。添加物が加わる製造プロセスによっては記載がない場合もある上，量についての記載は現在のところない。これらについては，欧米ではラベルに加えるような運動が起こっている。

おわりに

カルシウム，リンは，食塩に比べると注目度は低いが，加齢に伴って，骨粗しょう症が多く発生すると同時に，腎機能の低下も進むため，今後重要度は増していくと思われる。食品表示の問題など，解決すべき問題も多く残されていることを，社会的にも認識するべきであろう。

質疑応答

【菱田】深川先生ありがとうございました。体の骨を作る以外に，細胞膜を作ることやその他の機能に重要な役割を果たしているカルシウムとリンについてお話いただきました。これらの血中濃度は，いろんなホルモンがお互い作用し，最終的には腸管での吸収と尿中への排泄を調節して維持されているとのことでした。特に重要な腎臓が悪くなるとカルシウムの不足とともにリンの増加を招き，その対応としてカルシウムを摂りすぎると血管石灰化が生じ，また高リン状態を放置すると血管石灰化や寿命に影響する可能があるとのお話でした。

少し時間をいただいて質問させていただきたいと思います。骨粗鬆症を心配してカルシウムをたくさん摂ろうと努力されている方が多いのではないかなと思いますが，今日のお話を聞くと取り過ぎも心配になります。カルシウムに関係して日常的に我々が食事の点で気をつけておくことは，骨粗鬆症との関係も含めて何かございますでしょうか？

【深川】講演で述べましたように日本人は乳製品を取る量が欧米人に比べて少なく，また，ビタミン D の欠乏する場合も比較的多くあります。慢性腎臓病患者では，7 割ぐらいの人でビタミン D が不足しています。通常の食事から摂る分には気にしないで大丈夫だと思います。ただ，腎臓がすごく悪くなった状態でカルシウムのサプリメントをたくさん取るのは問題が起こることがあり注意する方が良いでしょう。特に骨粗鬆症の薬として活性型ビタミン D を飲んでいる場合には，逆にカルシウムが多くなり過ぎるということがあります。

【菱田】ありがとうございます。もう 1 つのリンは腎臓の機能が低下してくると体の中にたまりやすいということでした。腎臓の機能は加齢に伴っても低下しますが，一方で，加齢だけでは若い時の腎臓の60%ぐらいまでしか落ちないだろうとも言われています。そうすると腎臓の病気がなく加齢だけで腎臓の機能が低下している場合でのリンの摂取量はどの程度気にする必要があるのでしょうか？

【深川】健常な日本人のリンの摂取量というのは，だいたい男性で1,000 mg，女性で800 mgぐらいと言われてます。しかし，実は食品としての許容量というのは上限一日 3,000 mg というふうに書いてあるんですね。これは驚くべき量ですが，これはこのぐらい食べても要するに全部腎臓から出て行くからということになるかと思います。そうすると，かなり摂っても一見大丈夫そうですけど，例えば加齢に伴って腎機能6割ぐらいになったとしましょう。そこにリンが多量に入ってくると残った腎臓の負担になります。実は，腎機能 6 割ぐらいでも，FGF23 というリンを腎臓から出すホルモンはもう出てきていることが分っています。その意味で高齢者はできれば減らし気味にした方がよいのではないかと考えます。まずはあんまりファーストフードとかコンビニのものとかばっかり食べないように注意していただき，乳製品を好んで食べられる方はカルシウムも入りますけどリンも同時に入るということで，腎臓が悪い場合にはその量に注意をしていただくことが必要です。

【菱田】そうすると腎臓の機能が今はどの程度なのかを知ることが重要になりますね。特定健診や病院での腎臓機能検査で血液のクレアチニン濃度の測定で腎臓の機能が評価されてます。そこで eGFR という腎臓の機能を表す数字を見ていただければ 60%だとか，80%だったというのがわかるので，それを1 つの参考にしていただくということですね。もしそれが低ければちょっと気をつけ

ていただくとの理解でよろしいですか。

【深川】はい，おっしゃる通りです。

【菱田】ありがとうございます。今日のお話で不思議に思ったことですが，カルシウムやリンを調節するカルシトニンが進化の過程で役割が小さくなり，代わりに副甲状腺ホルモンが出現してきたということがありました。カルシウムとリンの調節は，ナトリウムやカリウムに比べて，骨や腎臓そして副甲状腺が関わり，非常に複雑であるように思うのですが，これには海から上がる進化の過程でカルシウムやリンに特有なことが影響しているんでしょうか？

【深川】人間の場合についてホルモンでかなり単純に説明をしたわけですが，海水はカルシウムが高いので，通常ではカルシウムを下げるカルシトニンの方が重要だったのでしょうが，淡水からさらに陸上に上がるにつれて，カルシウムを上げるホルモンである副甲状腺ホルモン（PTH）の方が重要となりました。魚では骨からカルシウムがしょっちゅう出入りしているわけではなく，カルシウムが極端に低くなった時にだけ，鱗を溶かしてカルシウムが出てくるということが知られています。なので，人間に備わっているホルモンによる調節機構は，おそらく海水から淡水に移動した時に，少しずつ進化してきた機能のように思います。海に行って，また戻ってくる鮭のようなものは海水と淡水の混じる汽水で浸透圧を調節していて，カルシウムに関しても，そこでホルモンを使って調節しているんだろうと思います。複雑は複雑ですけど，基本はやっぱり腎臓が中心で，たまたまちょうど骨が貯蔵庫として重要になっているというところだけが違っているように思います。

【菱田】深川先生からカルシウムとリンが我々の健康に非常に密接に関係しているというお話を聞かせていただきました。まだまだ分からないことも多い分野ですが，今日の話を聞いていますとそれがどんどん分かりつつある時代のように思います。先生にもさらに研究進めていただきまして，またいろいろと教えていただければと思います。今日はどうもありがとうございました。