ミ ネ ラ ル

体の健康, 土の健康

宮城大学　食産業学群　食資源開発学類
木村　和彦

令和２年度　宮城大学アカデミック・インターンシップ（オンライン）

研究室の紹介

元素分析（周期表すべての元素が対象）を中心とした研究と循環型＆健康社会への応用

❑（微量）金属元素が土壌から植物に移行する過程

- 主に微量元素（金属）
- カドミウムなど毒性のある元素
- セレンなど微量だが必須の元素
- ストロンチウム同位体比の解析と応用
- 環境中での元素の動態（河川水，灌漑水）
- **ケイ素の分析法**

❑循環型社会への貢献

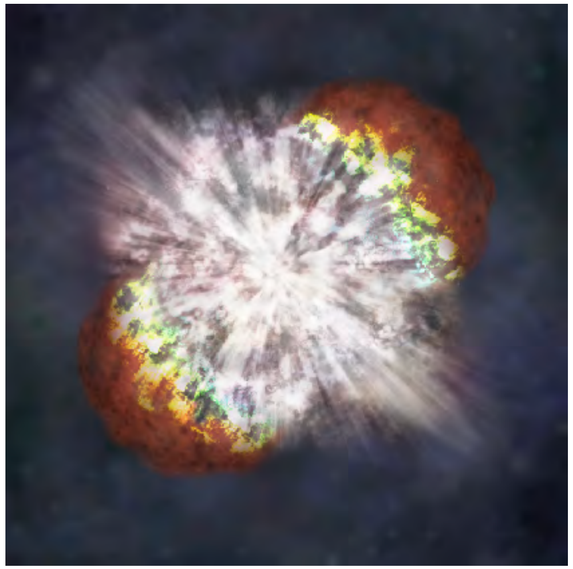
- 堆肥，食品廃棄物のリサイクル
- **ミミズの食品リサイクルへの活用**
- **食品廃棄物からのメタン発酵消化液の肥料利用**
- **バイオマス発電からの発生するチャーアッシュ の利用**

❑健康社会への貢献

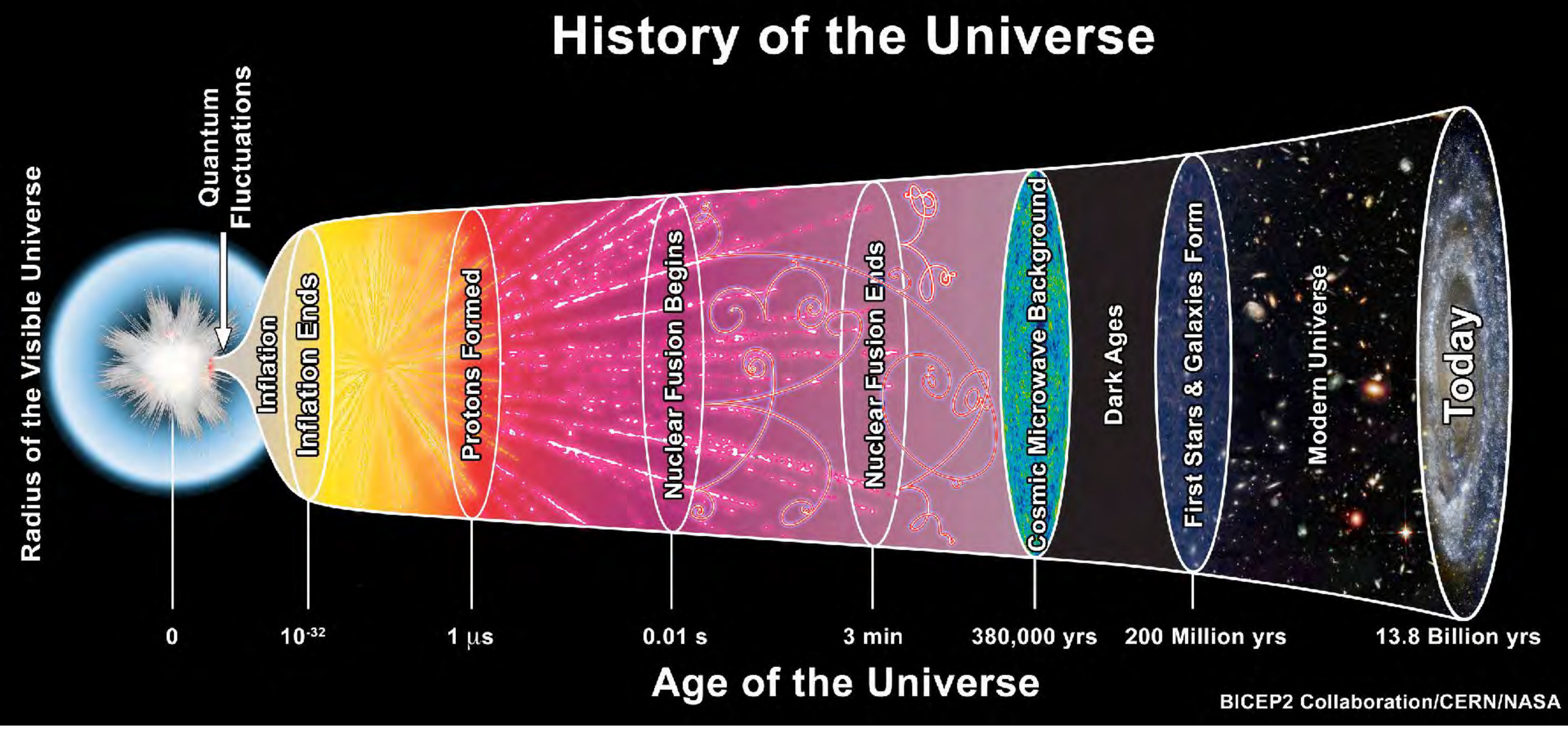
- 食品の微量元素分析

"The nitrogen in our DNA, the calcium in our teeth, the iron in our blood, the carbon in our apple pies was made in the interiors of collapsing stars. **We are made of star stuff**."

–Carl Sagan



私たちは星屑からできている



0
ビッグバン

1μ秒
陽子

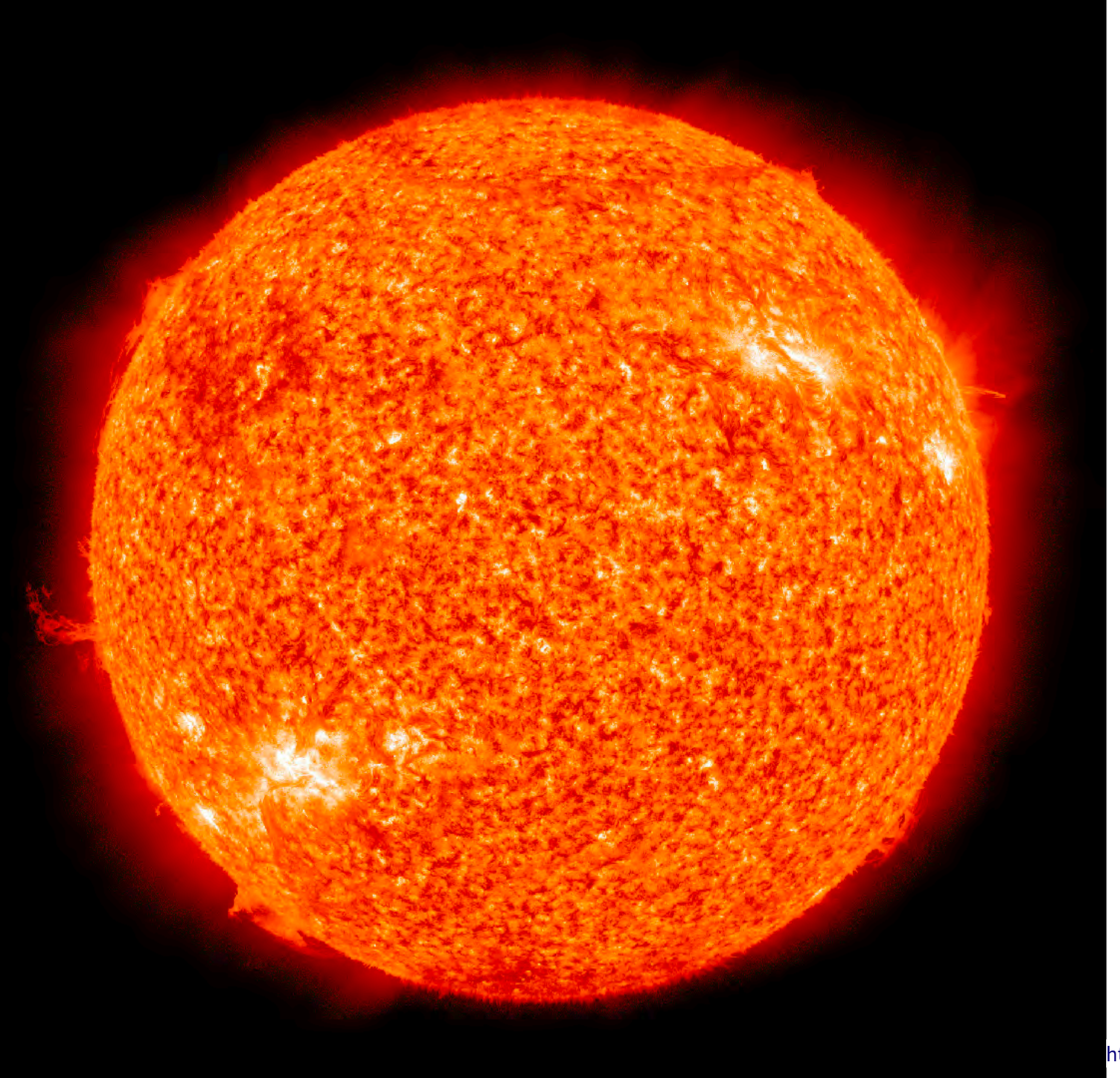
3分
原子核
(H,He)

38万年
原子

2億年
恒星
(～Fe,～U)

92億年
太陽系

138億年



恒星

核融合反応（水素, Heが燃える）

$^{2}H + {}^{1}H \rightarrow {}^{3}He + \gamma + 5.49\ MeV$

$^{4}He + {}^{4}He \rightarrow {}^{8}Be + \gamma - 92\ keV$

原子核合成（水素が反応し尽くすと）

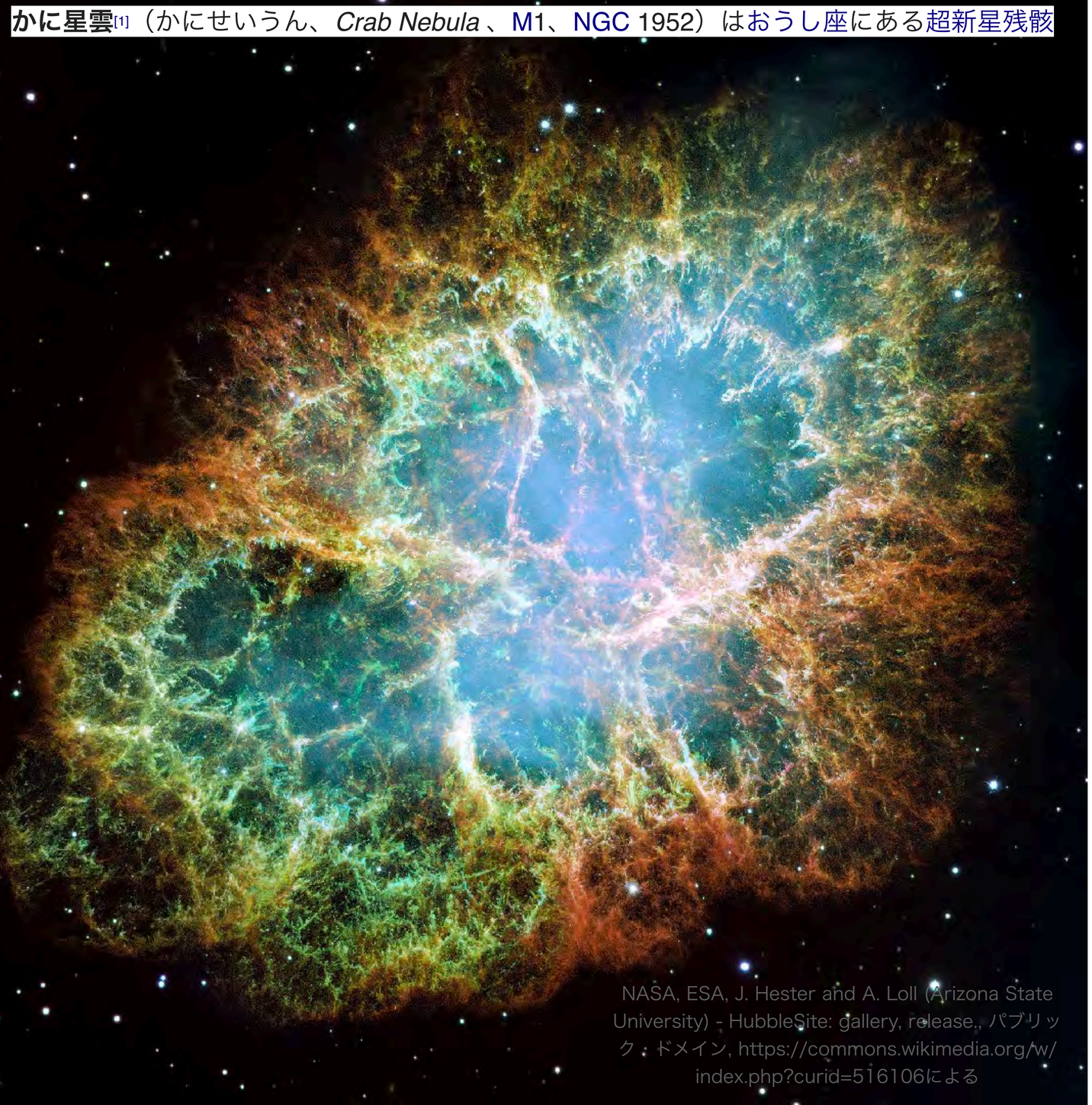
$^{8}Be + {}^{4}He \rightarrow {}^{12}C + \gamma + 7.4\ MeV$

$^{12}C + {}^{4}He \rightarrow {}^{16}O + \gamma$

・・・・・・・・・・・・

～　^{56}Feまでができる。

http://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/browse/2010/08/19/20100819_003221_4096_0304.jpg



超新星爆発

元素合成（太陽の3倍以上8倍以下）

$^{16}O + {}^{16}O \rightarrow {}^{28}Si + {}^{4}He$

$\rightarrow {}^{31}P + {}^{1}H$

$^{12}C + {}^{4}He \rightarrow {}^{16}O$

$^{16}O + {}^{4}He \rightarrow {}^{20}Ne$

$^{24}Mg + {}^{4}He \rightarrow {}^{28}Si$

～　^{56}Feまでができる。

超新星

　大質量の恒星が、その一生を終えるときに起こす大規模な爆発現象

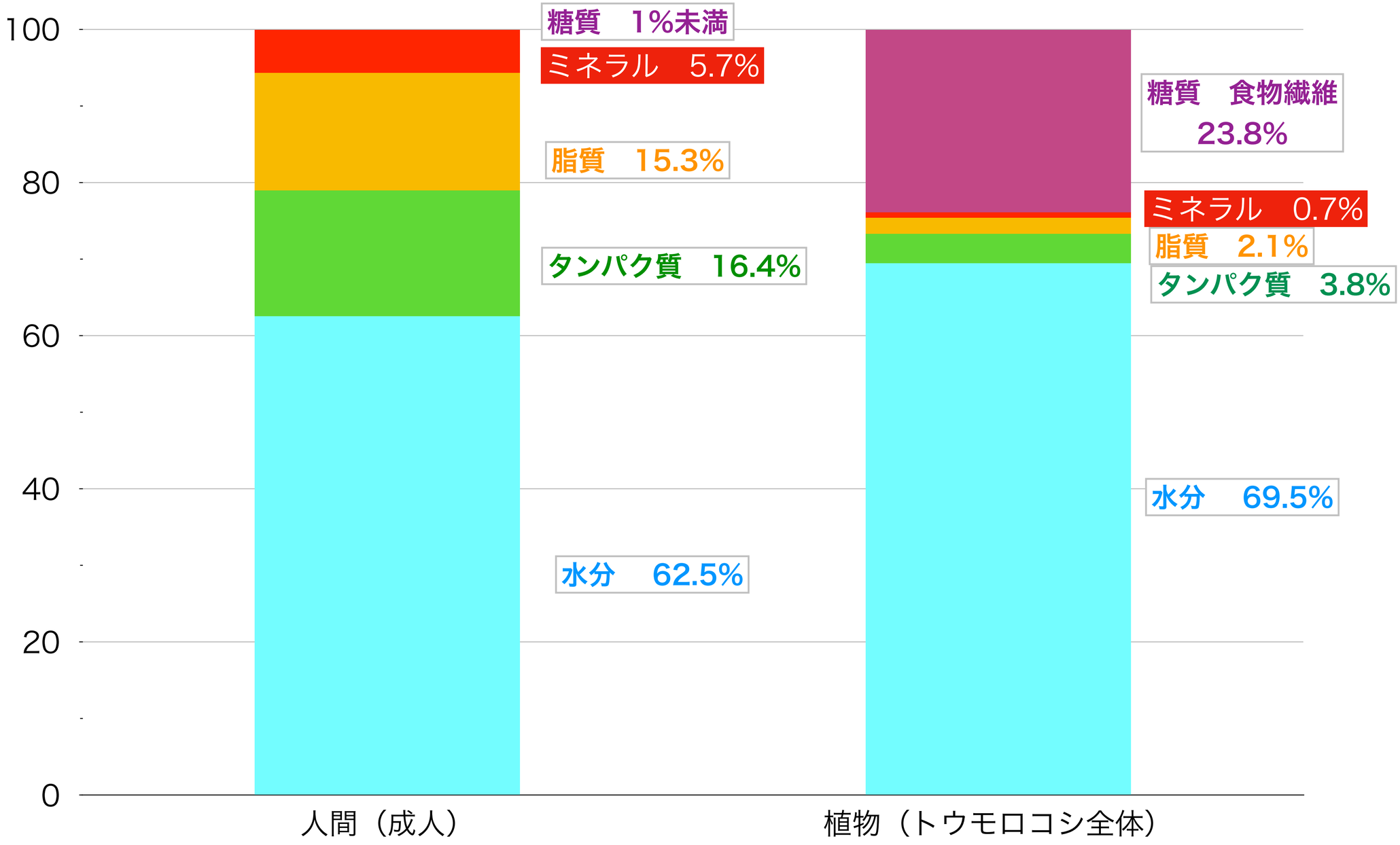
超新星元素合成

　超新星爆発によって元素が新たに合成されること

　エネルギーがかなり大きい

さらに重い元素ができる。

人間と植物の成分


100
80
60
40
20
0
糖質　1%未満
ミネラル　5.7%
脂質　15.3%
タンパク質　16.4%
水分　62.5%
糖質　食物繊維
23.8%
ミネラル　0.7%
脂質　2.1%
タンパク質　3.8%
水分　69.5%
人間（成人）
植物（トウモロコシ全体）

人間の元素組成

oxygen	43 kg (61%, 2700 mol)
carbon	16 kg (23%, 1300 mol)
hydrogen	7 kg (10%, 6900 mol)
nitrogen	1.8 kg (2.5%, 129 mol)
calcium	1.0 kg (1.4%, 25 mol)
phosphorus	780 g (1.1%, 25 mol)
potassium	140 g (0.20%, 3.6 mol)
sulfur	140 g (0.20%, 4.4 mol)
sodium	100 g (0.14%, 4.3 mol)
chlorine	95 g (0.14%, 2.7 mol)
magnesium	19 g (0.03%, 0.78 mol)

iron	4.2 g
fluorine	2.6 g
zinc	2.3 g
silicon	1.0 g
rubidium	0.68 g
strontium	0.32 g
bromine	0.26 g
lead	0.12 g
copper	72 mg

aluminum	60 mg
cadmium	50 mg
cerium	40 mg
barium	22 mg
iodine	20 mg
tin	20 mg
titanium	20 mg
boron	18 mg
nickel	15 mg
selenium	15 mg
chromium	14 mg
manganese	12 mg

arsenic	7 mg
lithium	7 mg
cesium	6 mg
mercury	6 mg
germanium	5 mg
molybdenu	5 mg
cobalt	3 mg
antimony	2 mg
silver	2 mg
niobium	1.5 mg
zirconium	1 mg

lanthanum	0.8 mg
gallium	0.7 mg
tellurium	0.7 mg
yttrium	0.6 mg
bismuth	0.5 mg
thallium	0.5 mg
indium	0.4 mg
gold	0.2 mg
scandium	0.2 mg
tantalum	0.2 mg

vanadium	0.11 mg
thorium	0.1 mg
uranium	0.1 mg
samarium	50 µg
beryllium	36 µg
tungsten	20 µg

59元素

ミネラル（金属元素）は実はほとんど全てある

Reference: Emsley, John, The Elements, 3rd ed., Clarendon Press, Oxford, 1998

人間の元素組成（周期表で）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	**H**																	He
2	Li	Be											B	**C**	**N**	**O**	F	Ne
3	**Na**	**Mg**											Al	**Si**	**P**	S	Cl	Ar
4	**K**	**Ca**	Sc	Ti	V	**Cr**	**Mn**	**Fe**	**Co**	Ni	**Cu**	**Zn**	Ga	Ge	As	**Se**	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	**Mo**	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	**I**	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									

＋ ランタノイ	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
＋＋ アクチノイ	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

多量元素，少量元素は全て必須元素

微量元素，超微量元素のうち，Fe,Zn,Mn,Cu,Se I，　Mo , Cr, Mo　は必須元素

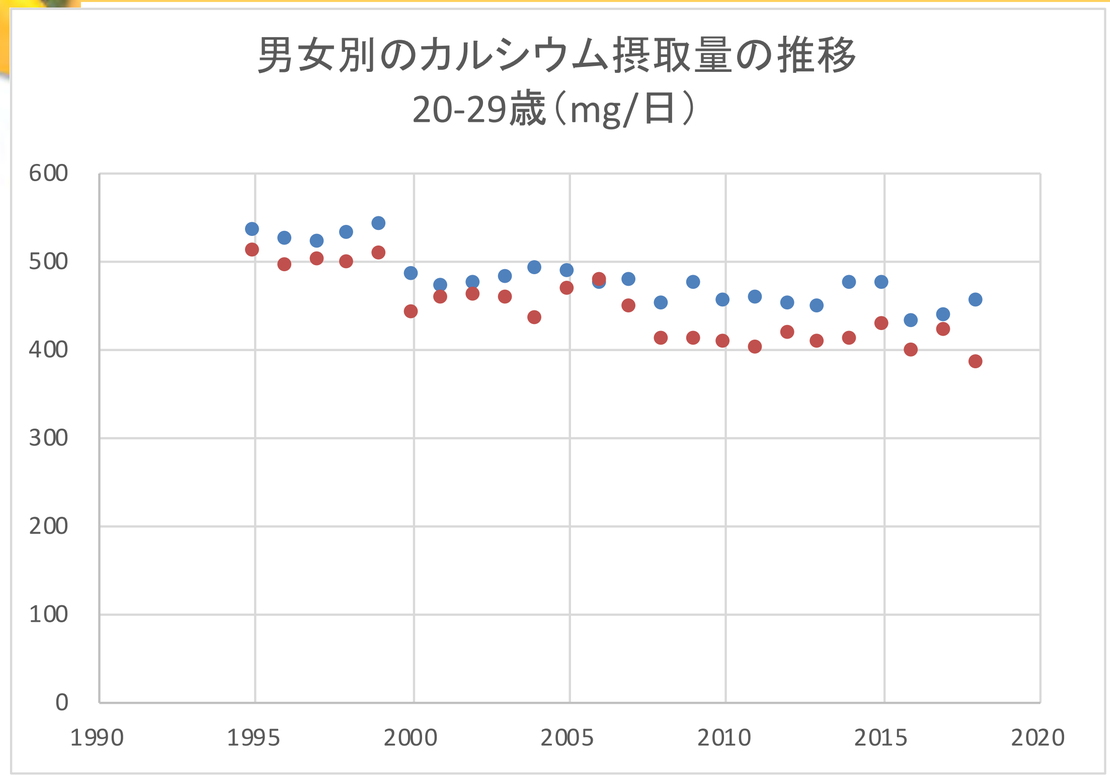
必須元素は太字，必須性が確認されていない元素は小文字，グレーは自然界に無

多量元素（必須）　6
少量元素（必須）　5
微量元素（必須）　10

役割が未解明だが，必須元素や有用な元素が他にもあるかもしれない。
（Ni, V, F）
（Li, Cd）

植物と必須性はほぼ共通（除くNa, Se, I, Cr）

現代人はミネラル不足？

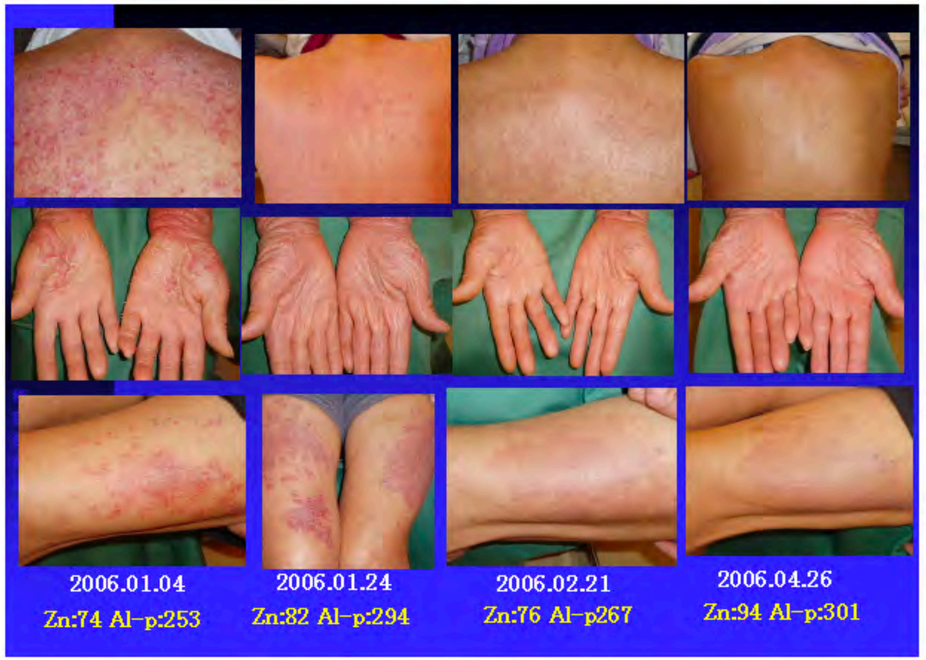


国立健康・栄養研究所 National Institute of Health and Nutrition

https://www.nibiohn.go.jp/eiken/kenkounippon21/eiyouchousa/keinen_henka_time.html

- この年代では男性が650 mg, 女性が550 mgが必要量
- 2500 mgを超えると過剰摂取

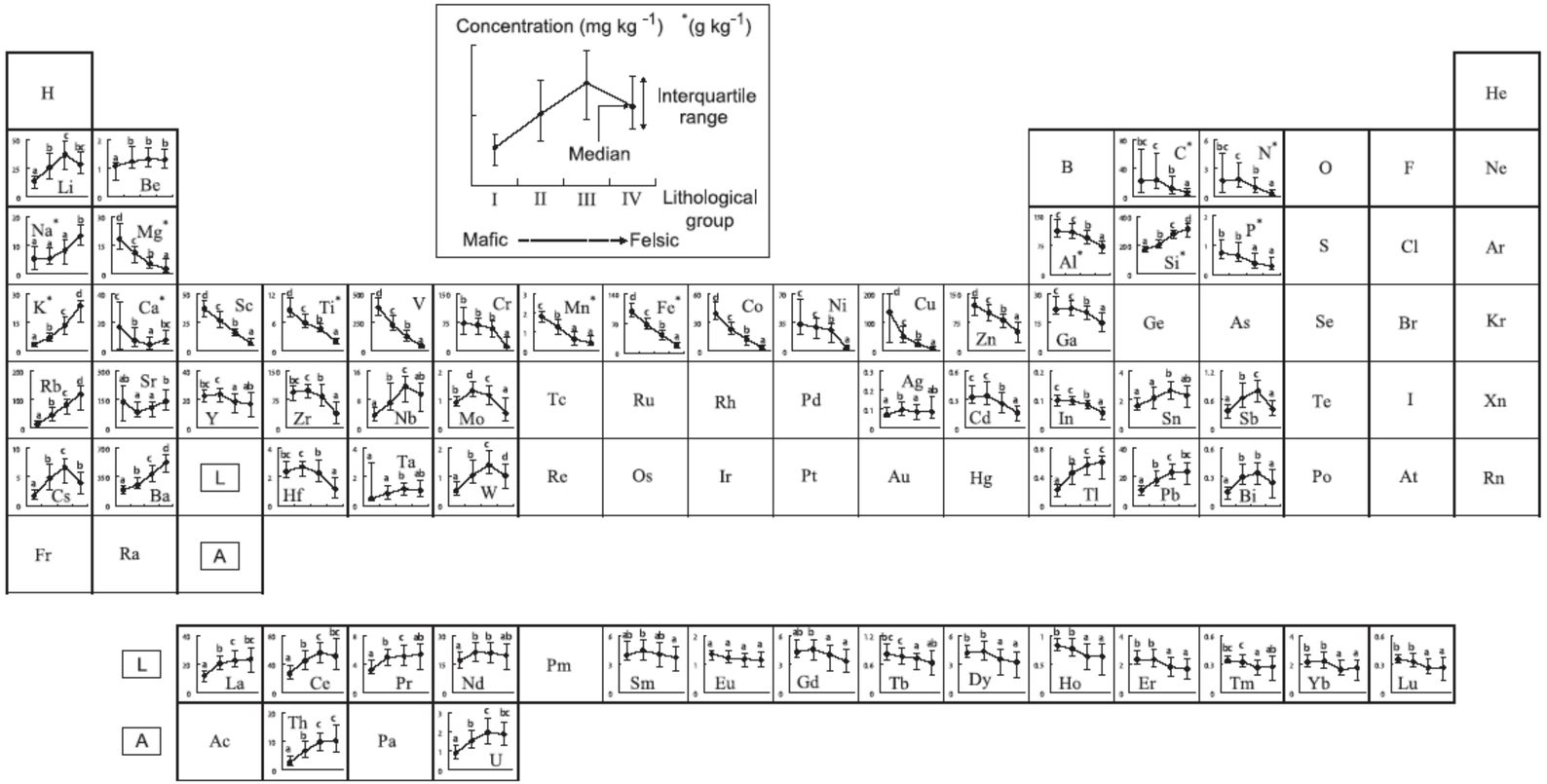
- ミネラルの摂取量は長期的に減少傾向
- 食べる食品の変化
- 野菜のミネラル含量が減少？
- 潜在的にミネラル不足で不健康？
- モリブデン，ヨウ素，セレンが調査に追加



亜鉛欠乏が治る様子（亜鉛欠乏症のホームページより）

http://www.ryu-kurasawa.com/shourei_list/%E7%9A%AE%E8%86%9A%E7%A7%91%E7%97%87%E4%BE%8B%E9%9B%86/

日本の農耕地の元素濃度



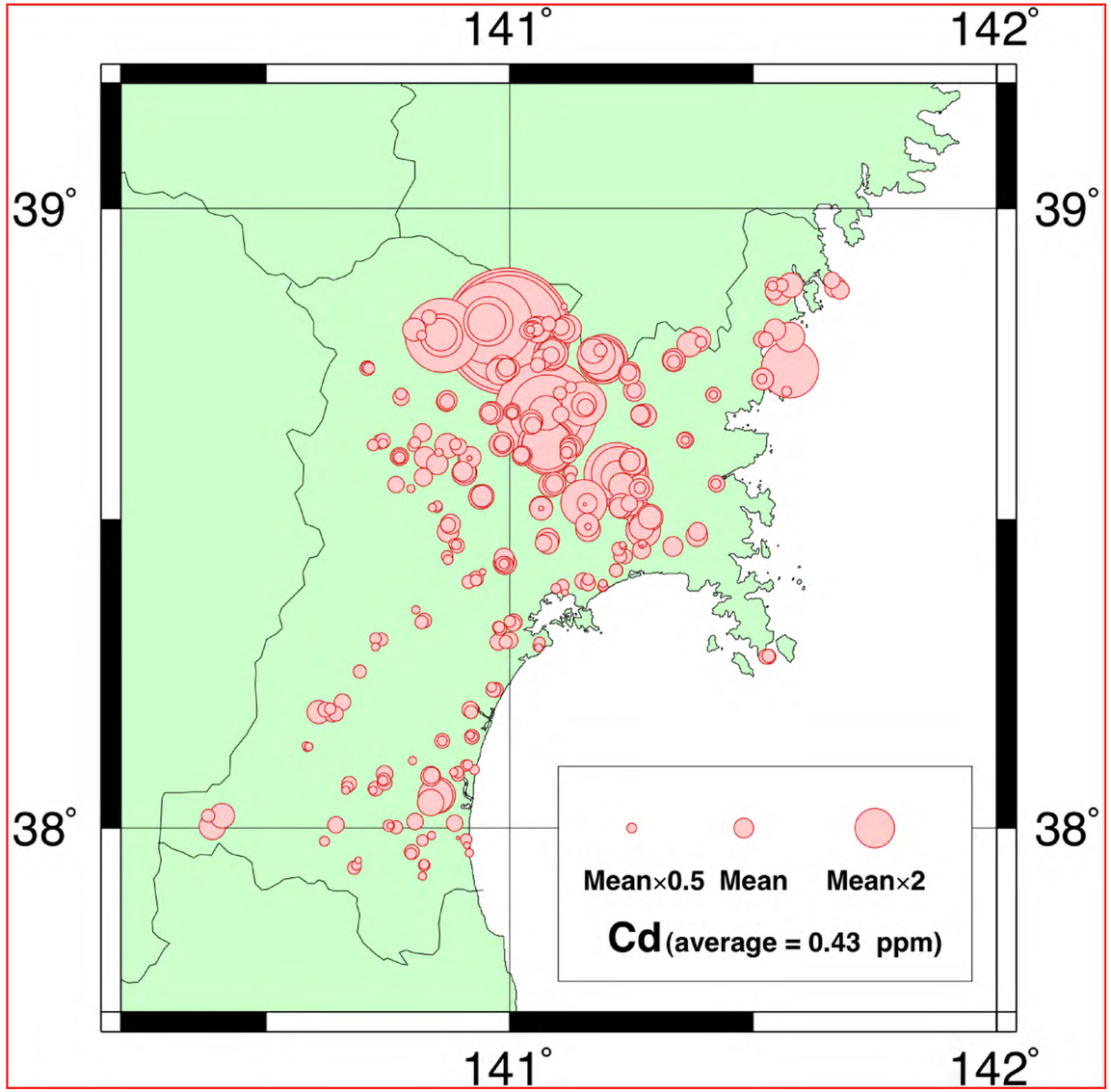
- 東北大学時代に大学院生と研究
- 土壌のもとになる岩石の種類（流紋岩，安山岩，玄武岩）によって，元素濃度が異なる。
- 場所によって，元素濃度がかなり異なる。
  → 地域によって農産物の金属濃度が異なる

Analysis of 57 elements in Japanese soils, with special reference to soil group and agricultural use

Akira Takeda[a,*], Kazuhiko Kimura[b], Shin-ichi Yamasaki[b]

Geoderma 119 (2004) 291–307

宮城県のカドミウム汚染



- 鉱山に由来する汚染が見られる。
- 既に土壌の入替対策が完了している。
- 土壌管理によっては，作物のカドミウム濃度が高くなる。

「つや姫」からカドミウム検出
宮城県が回収要請

宮城県は８日、栗原市若柳川南地域で生産された2015年産米の一部から昨年12月、**国の基準値（0.4 ppm以下）**を超える**0.70 ppmのカドミウム**が検出され、栗っこ農協（同市）に出荷分の全量回収を要請するなどしたと発表した。

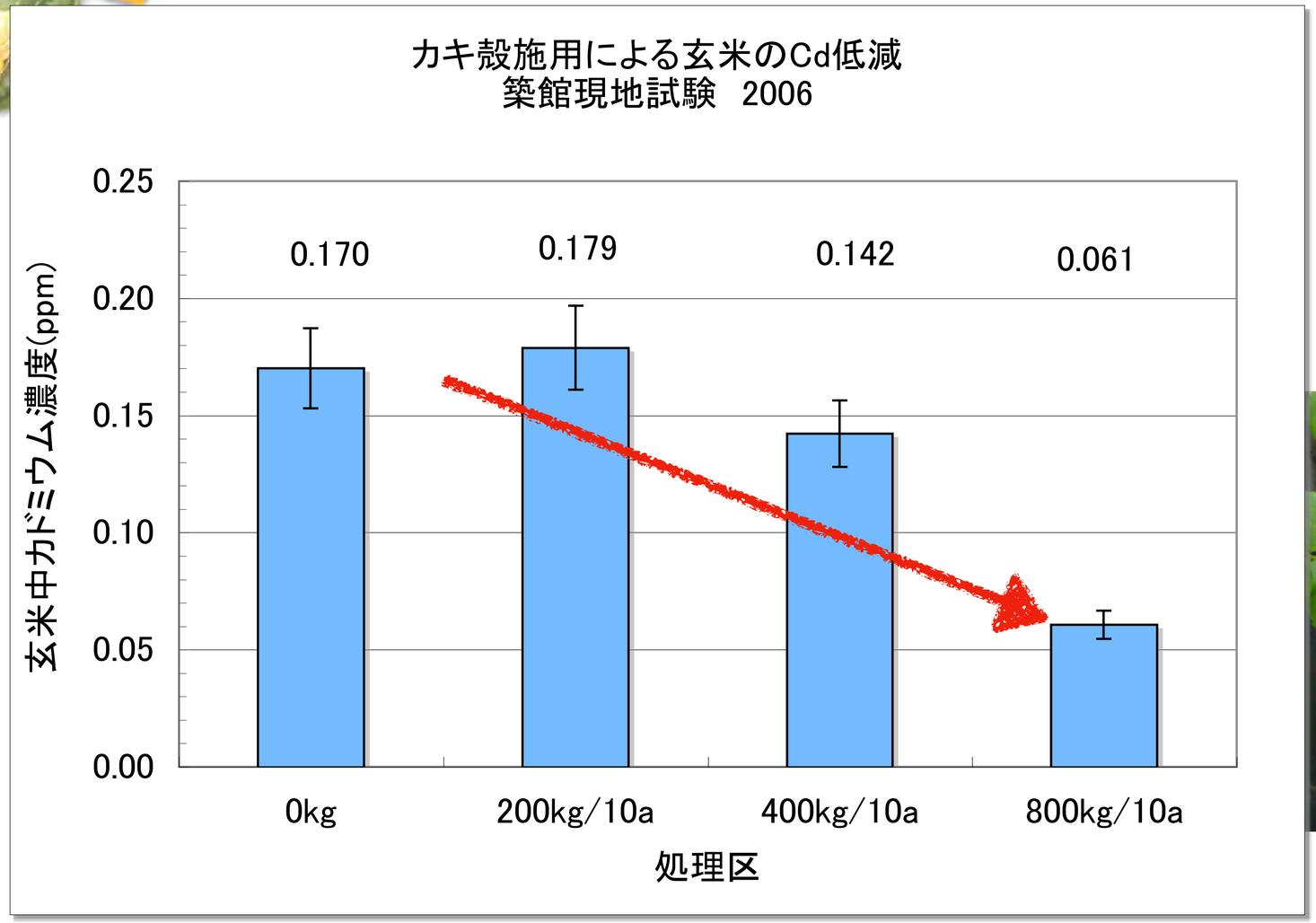
対象は県内外の４販売事業者に出荷したつや姫１５５袋（１袋玄米３０キロ）。農協はこれまでに１５３袋を回収、残る２袋は消費者に流通したとみられる。県農産園芸環境課は「摂取量などを考えれば健康被害の恐れはない」と話している。

河北新報　http://www.kahoku.co.jp/tohokunews/201601/20160109_13031.html

宮城は牡蠣が美味しい！

カキ殻は有力な土壌酸性の改良，カルシウム補給，ほかの微量元素補給

カドミウムの対策



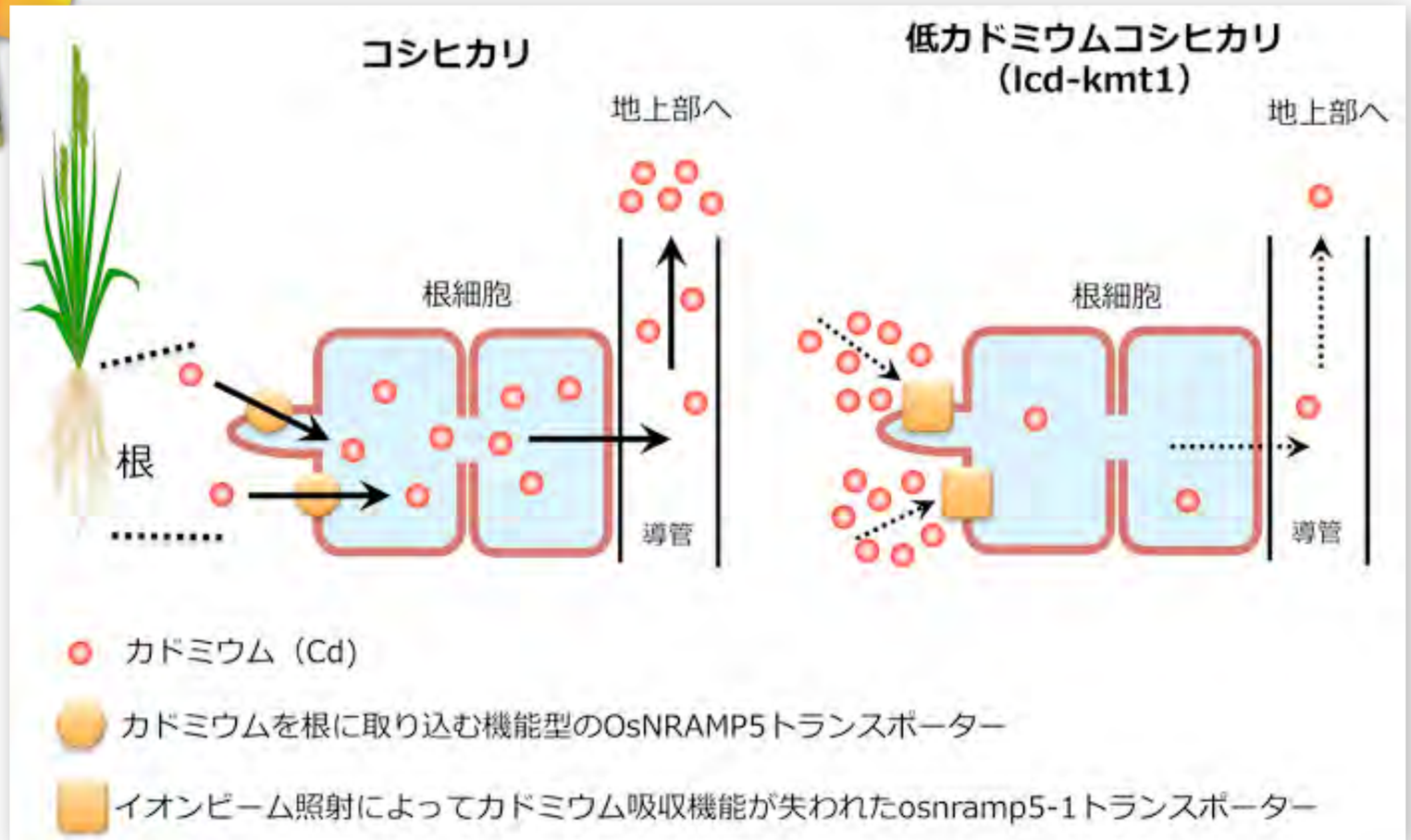
- 廃棄物のカキ殻を水田に大量にまく
- 1/3まで玄米のカドミウムの濃度低下
- 畑でも有効性を確認

カキ殻
500kg/10a区

無処理区

炭酸カルシウム
500kg/10a区

遺伝子改変でのCd対策



- 遺伝子改変の技術はかなり有効
- 突然変異を利用し，安全
- 各県ではこの遺伝子を導入中
- 副作用に注意（Mnが少ない）
- セシウムを吸収しないイネも作出されている

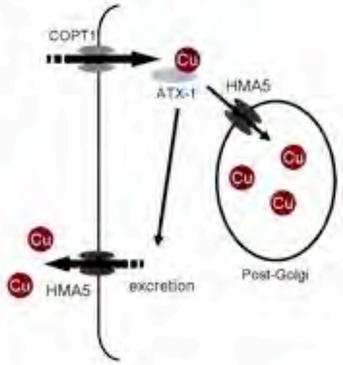
カドミウム低吸収の**変異体**を作出（農林水産省）
Mn(Cd)トランスポーターが機能しない
玄米のCd濃度が1/50以下に

代謝の研究

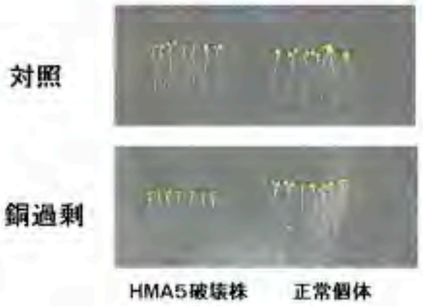
シロイヌナズナの銅排出タンパク質と根の銅感受性の関係

1. 銅感受性品種は根に銅をためる

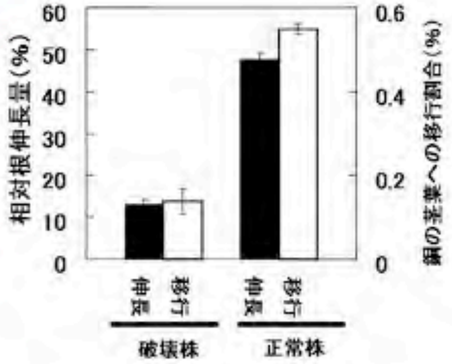
2. 原因タンパク質は、細胞から導管に銅を排出するHMA5（P-Type ATPaseの一種）である。



HMA5 遺伝子破壊株の生育



HMA5遺伝子破壊株は銅過剰で根の伸長が阻害される。



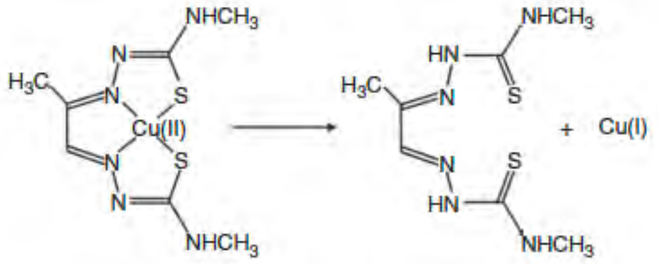
HMA5破壊株は地上部への銅移行が低い → 根細胞で銅過剰が起きる

岐阜大学　小山先生との共同研究

- 遺伝子破壊により，銅輸送に関わるトランスポーターの働きを調べる。
- 将来的には不毛な農地（酸性土壌）での作物生産に貢献
- 少量の試料の金属分析を担当

薬の研究

- Menkes病とは
  銅輸送の遺伝子異常の病気（難病指定）
  銅欠乏により死に至る病
- 効果的な治療法がない
- 有効な治療法を探すために様々な銅化合物の試験中
- 様々な臓器中の金属分析を担当



Copper-trafficking efficacy of copper-pyruvaldehyde bis(N^4-methylthiosemicarbazone) on the macular mouse, an animal model of Menkes disease

Mitsutoshi Munakata[1], Hiroko Kodama[2], Chie Fujisawa[2], Tomoko Hiroki[2], Kazuhiko Kimura[3], Mika Watanabe[4], Masazumi Nishikawa[5] and Shigeru Tsuchiya[1]

[1]Department of Pediatrics, Tohoku University School of Medicine, Sendai, Japan; [2]Department of Pediatrics, Teikyo University School of Medicine, Tokyo, Japan; [3]Department of Farm Management, School of Food, Agricultural and Environmental Sciences, Miyagi University, Sendai, Japan; [4]Department of Pathology, Tohoku University School of Medicine, Sendai, Japan; [5]Department of Food Management, School of Food, Agricultural and Environmental Sciences, Miyagi University, Sendai, Japan.
Correspondence: Mitsutoshi Munakata (m-munakata@umin.ac.jp)

Received 4 April 2012; accepted 4 May 2012; advance online publication 25 July 2012. doi:10.1038/pr.2012.85

Copyright © 2012 International Pediatric Research Foundation, Inc.

産地偽装を見破る

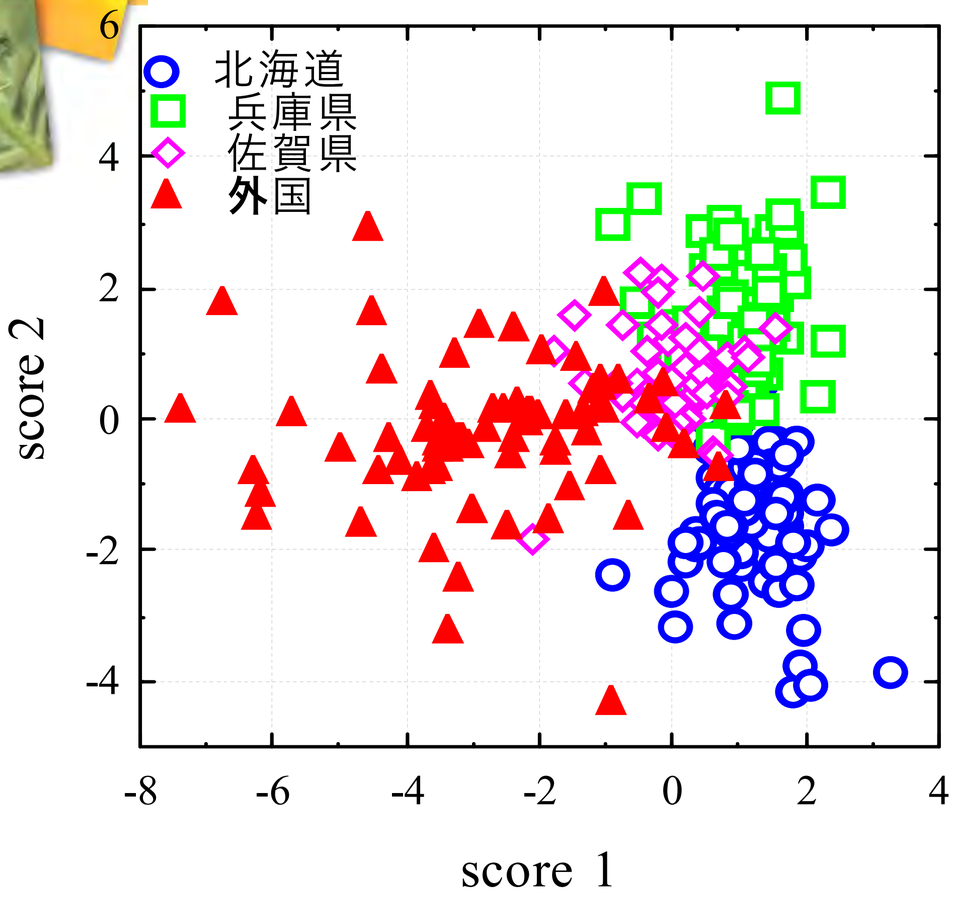


図１．12 元素（Na, Mg, P, Co, Cu, Zn, Rb, Sr, Mo, Cd, Cs, Ba）からなる 4 群の判別関数によるスコアのプロット

無機元素とDNAによるタマネギの産地判別

(独)農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所

★元素濃度のパターンにより産地判別ができるとされているもの

- 玉ねぎ
- わかめ（塩蔵または乾燥）: 国産・中国産
- にんにく: 国産・中国産
- オクラ: 国産・フィリピン産
- 梅干し
- お茶
- 干し椎茸
- 黒大豆
- ネギ
- ワイン

★DNA分析、軽元素安定同位体比分析、ストロンチウムなどの同位体比を組み合わせる方法でより正確に

土の健康

土壌の健康

土壌の健康は、「生態系と土地利用の境界内で、植物と動物の生産性を維持し、水と空気の品質を維持または強化し、植物と動物の健康を促進する、重要な生命システムとして機能する土壌の能力」と定義される。

(Doran and Zeiss, 2000)

- 近代農業（機械化，化学肥料）の問題
  - 生育が悪く，病気になりやすい
  - 排水が悪く作業がしにくい
  - 環境汚染
- 原因
  - 耕起の過剰，**堆肥など有機物の不足**
  - 肥料，農薬の過剰投入
  - 土壌生態系が単純化
- 対策
  - **有機物（堆肥）の積極的投入**
  - **土壌管理を診断に応じて行う**

◉世界的には危機意識が高い

◉有機農業も盛ん

◉炭素を土に隔離する効果

The Nature Conservancy

循環型社会と土の健康

- 大手企業も積極的に取り組むようになってきた。

環境ビジネスオンライン http://www.kankyo-business.jp/news/005306.php

- 食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律
  （食品リサイクル法）
- たい肥や飼料としてリサイクルすることが求められる。

体の健康，土の健康，社会の健康

Ｊバイオフードリサイクル会社

京都大学農学研究科　飯田訓久先生

- 食品リサイクルが求められる
- 食品工場の廃棄物や食べ残しなどをメタン発酵の原料に使う
- 発酵消化液（発酵した残り）を肥料として使う
- 肥料成分の分析と肥料の設計（ミネラルを含む）
- 肥料としての効果を高める工夫
- 有害元素のチェック

まとめ

- 私たちは星屑でできている。→ビックバン後間もなく水素ができ，恒星内で水素の核融合で鉄までの原子ができる。鉄より重い元素は，恒星が超新星爆発を起こす時にできる。
- 現代人はミネラル欠乏しがちである。
- 土の元素は岩石の元素に由来する。その性質を利用すれば，産地がある程度わかる。
- カドミウムの汚染がまだ少し問題である。カキ殻の散布は有効な対策。遺伝子改変でカドミウムなどの問題となる金属の吸収を抑えることができる。
- 土の健康は大事。特に堆肥などの有機物。循環型社会を作るためにも有機物のリサイクルが重要である。そのためには，ミネラルを把握することが重要。

お疲れ様でした。

講義は終了しました。

第二部では分析の様子を紹介します。