

# 1S01

素粒子物理学の新展開：

CERN/LHC 実験における“ヒッグス粒子らしき新粒子”の動向

(東京工業大学大学院理工学研究科) ○陣内修

スイス・ジュネーブにある CERN(欧州合同原子核研究機関)において、2009 年から本格稼働している大型の陽子・陽子衝突型加速器である LHC は、2010-2011 年を陽子陽子の重心系エネルギー $\sqrt{s}=7\text{TeV}$  で 2012 年に入ってから $\sqrt{s}=8\text{TeV}$  で運転している。いずれもこれまで世界最高エネルギーであった米国フェルミ研究所のテバトロン加速器 $\sqrt{s}=1.96\text{TeV}$  を大幅に凌駕するものである。LHC の衝突点に設置された 2 つの実験装置、アトラス実験と CMS 実験、を用いて 2 つの国際共同実験グループが、素粒子の標準模型で唯一実験的に検証されていない「ヒッグス粒子」の探索、および標準模型を超えた新しい物理事象・新粒子の探索を押し進めている。

LHC 加速器は長期安定なうえ設計に近い性能を発揮しており、当初の予定を上回るビーム衝突の積算輝度を達成している、また受ける側のアトラス検出器、CMS 検出器も LHC が供給したビーム衝突の 9 割以上を現在物理解析に用いることができおり、加速器・検出器の両方が新結果をだすことが可能な段階にまで到達している。

まだ記憶に新しい 7 月 4 日に CERN から世界に同時発信された両グループからの暫定報告では、質量 125-126 GeV 付近に両実験とも約 5 標準偏差の有意性で新粒子の存在を確認している。これまでの解析結果からはこの粒子が、「標準模型由来のヒッグス粒子」かどうかの確認は得られていないが、逆に現在の測定誤差の範囲でその持つべき性質と矛盾した結果も得られていない。そこで今後は観測事象の統計を増やして統計誤差を減らすとともに、更に測定の系統誤差の精査を進めて、この新粒子の素性を詳らかにしていく必要がある。

9 月半ばに、欧州における素粒子物理学の将来戦略を検討する重要な委員会があり、そこでのヒッグス粒子探索に関する最新の結果は今年度の半ばまでのデータを用いたものとして、大きな意義がある。そこで、この委員会は今年度の一つの大きな節目にあたる。

本講演ではヒッグス粒子探索の意義、これら 2 つの実験の背景、実験結果を理解する上で必要となる高エネルギー粒子加速実験結果の解釈の基礎など、他分野の方にも分かりやすいように丁寧に説明するつもりである。また 7 月 4 日に行われたセミナーのポイント、9 月半ばに更新される最新情報についてもまとめて報告する予定である。

**New progress in elementary particle physics :  
the latest news on discovery of "Higgs like new particle" at CERN/LHC**  
JINNOUCHI, O.

## 2S01

東京大学大学院農学生命科学研究科における福島第一原子力発電所事故による放射能影響に関する取り組み

(東大院農生科、中西友子)

東京大学大学院農学生命科学研究科では、被災地の農業復興支援研究を、約40人にのぼる教員が参加したシステムティックな活動として進めてきている。発端は、事故後、研究科長のリーダーシップの下、教員から農業の現場で役立つ研究計画の提出をお願いしたことに始まる。出された各種提案は、穀物、畜産物、魚介類、フィールドなどの分野に分類した後グループ化し、実際の農業現場に寄与する研究を進めることとなった。この研究分野は農学の全分野に及び、各グループは、農学部にある圃場、牧場などの各種附属施設、ならびに、各専攻すべてを串刺しにした教員で構成されている。つまり、今まで馴染みが薄かった異分野の研究者が、復興支援のための研究を効果的に推進するため、集合して研究を始めたのである。

農業現場での研究とは複雑な自然相手の研究でもある。そのため、一つの専門分野の研究者だけでなく、いくつかの異なる専門の研究者が集まって初めて解析が可能となる。例えば、イネについては、栽培、水田土壌、水利等の専門家が集まって検討・議論を行うことにより、初めて、どうやって汚染米ができたのかが見えてくるのである。

研究は被災地のみならず、全国に広がる演習林や牧場などの附属施設でも行われてきている。そのため、たとえば作物や家畜を対象とした研究では、高レベルから低レベルに至る放射能汚染地における影響を調べてきている。また、魚介類では海水や淡水に住む魚への放射能の動態解析や加工過程における放射能の残存率について、さらに野生動物では現地調査が展開されてきている。特にキノコについては、今回の事故による放射能のみならず、かつての核実験など、事故前に蓄積していた放射性セシウムも測定されてきている。

得られた結果についての成果報告会は、昨年は11月に、今年は2月、5月とすでに3回開催し、その講演内容は農学部ホームページに動画として掲載した。第1回は、作物、土壌、畜産、水産、野鳥などについて、第2回は、その後の成果も含め、作物生産、畜産、水産、果樹やキノコについて、第3回は、農畜産・水産物等の研究に加え、被災地農業再生のデザインやサイエンスコミュニケーションについても報告を行ってきた。また、第4回は9月、第5回は12月と、本年さらに2回成果報告会を行なう予定で準備を進めているところである。

福島第一原子力発電所の事故では、被災地のほぼ8割にあたる地域が、森林も含め、農業関連地といわれている。しかし被災地はその面積が広くまた植生を含め多様性に富む土地であることなどから、現場に根差した研究についてはまだ情報が非常に少ない状況である。私たちが通常得ることができる情報の多くは、被災した「場所の放射能測定値」と、生産された「食品の放射能測定値」である。測定器で放射能を測定していくことは非常に大切ではあるが、単に測定することだけでは、被害の影響を予測しその対策を講じることは困難である。放射能汚染が時間の経過とともにどう動いていくか、そこで育つ作物や動物への影響はどう変化していくのかなど、現場に根差した放射能汚染の実態や汚染原因を科学的に知ったうえで、初めて有効な対策を考えていくことができるのである。農業現場における科学的知見がわかることこそが、農業復興への第一歩であろう。

Agricultural research conducted after Fukushima nuclear power plant accident  
- An approach integrating all of the departments and facilities in Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo-  
NAKANIAHI, T.M.

【緒言】日本原子力学会「原子力安全」調査専門委員会では、今回の福島第一原子力発電所の事故により広がった放射性物質による環境汚染からの速やかな修復を願い、課題の検討や解決に向けての提言を行うクリーンアップ分科会を昨年5月に発足させた。これまで1年数ヶ月にわたって効率的な修復のための提言、チェルノブイリ原子力発電所事故による欧州の環境汚染からの修復事例の紹介、住民の方々への家屋、田畑等の除染技術の紹介、水田を用いた除染現地試験、仮置き場に求められる要件の整理、並びに住民との対話集会(フォーラム)や環境省と福島県が合同で設置した除染情報プラザへの専門家の派遣などを実施してきた。ここではそれらの活動の中から現在の除染の状況と課題および水田を用いた除染現地試験について報告する。

【試験方法】セシウム(Cs)に汚染された土壌の性質を理解すると共に土壌からCsを除染するために有効な技術に対する基本的な知見を得るために「現地における代掻き(荒掻き)試験」を実施した。また、今年度、農水省はCsに汚染された田畑にはすべてゼオライトの散布を義務つけたが、ゼオライト効果を確認するために、「稲作試験」を実施している。これは、海外の知見の乏しい水田の除染技術に対する正しい情報を入手することにより提案されている環境修復技術や除染技術に公正な評価を行えるようにするためである。

#### 1. 代掻き(荒掻き)試験

試験を行う水田の現場の空間線量率を測定した。試験水田の草刈りをした後、土壌・草・根サンプリングを採取し、放射エネルギーを測定した。また、耕起、耕起後の空間線量率を測定した。その後、畦板により水田を仕切り(約7m x 22m)、水張りを行った。さらに、代掻き(荒掻き)を約10分行い、経時的に排水、濁水サンプリングし、線量率の測定を行った。

#### 2. 稲作試験

一筆の水田で吸着剤および肥料施肥の効果を検証するため、水田を2反を各々3区画に区分した。まず、用水路の水平方向に、ゼオライトなし、通常量、倍量で散布する区画を設けた。上流側は肥料施肥なし、下流側は肥料施肥ありとした。なお、ゼオライトは土壌に鋤き込まれ区画間を移動しないと考えられるため、水平方向への仕切り板は設置しなかった。

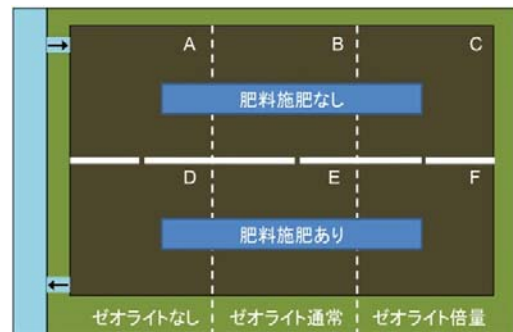


図1 稲作試験の試験条件

#### 【試験結果】

##### 1. 代掻き(荒掻き)試験

試験水田の草刈りをした後の放射エネルギーを測定した結果は0.6-0.9  $\mu$ Sv/h (NaI検出器(3.5cm鉛遮蔽つき))であった。また、耕起、耕起後の空間線量率を測定結果は0.4-0.6  $\mu$ Sv/h(同上)。代掻き(荒掻き)後の測定結果は0.2-0.3  $\mu$ Sv/h(同上)。荒掻き1回で放射能濃度は半分に、2回でさらに半分になった。

##### 2. 稲作試験

結果については当日報告する。

【はじめに】福島第一原子力発電所事故によって大量の放射性物質 ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ) が発電所外の周辺環境に放出され、これらの放射性物質は周辺地域にフォールアウトして水環境と森林や土壌などの周辺環境を広範に汚染した。本稿では、Cs 汚染環境の回復技術として、水熱分解法と凝集沈殿法を組み合わせた複合プロセスを提案し、飯館村の実汚染土壌を対象に提案プロセスの除染効果を調べた。

【水熱分解・凝集沈殿複合プロセス】

Fig. 1 に本研究で提案している Cs 除染プロセスのフローを示す。提案プロセスは 4 つの工程、①汚染物質収集・前処理、②汚染物質からの Cs の水相への溶出(水熱分解・爆砕)、③水相の Cs の回収(凝集沈殿)、④Cs 沈殿物の減容・安定化から構成されている。水熱分解では高温 (200~260°C)、高压 (2~4 MPa) の亜臨界水によって主に有機物質を分解・可溶化し、更に爆砕 (圧力の急減圧) によって主に無機物質を破壊して、汚染物質から Cs を水相に移行させる。凝集沈殿では、水相に移行させた Cs を微粉吸着剤 (フェロシアン化鉄等) と凝集剤で沈殿回収する。

【実汚染土壌の処理試験】本提案システムの実証のために、飯館村飯樋地区で採取された汚染土壌 (55,000 Bq/kg) を用いて Cs 回収試験を行った。水熱分解・爆砕工程では土壌重量 (50g) に対して 75%~300%の水を添加した。温度 200°C、圧力 2MPa、処理時間 30 分の条件で水熱分解した後、爆砕操作 (密閉開放による圧力急減圧) を行った。Fig. 2 に試験結果を示す。水の添加量を増加するに従って Cs の水相への移行率は増加し、土壌と等量の水を添加した場合で 64%、3 倍量添加した場合は 85%まで増加した。これらの結果は、水熱分解・爆砕操作が汚染土壌から Cs を水相に移行されるのに有効であることを示唆している。

【付記】本報告の内容は、農林水産省「平成 23 年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」において実施された「蒸煮・爆砕反応を利用する農地土壌から放射性セシウムの分離・除去の実証研究」で得られた研究成果の一部である。

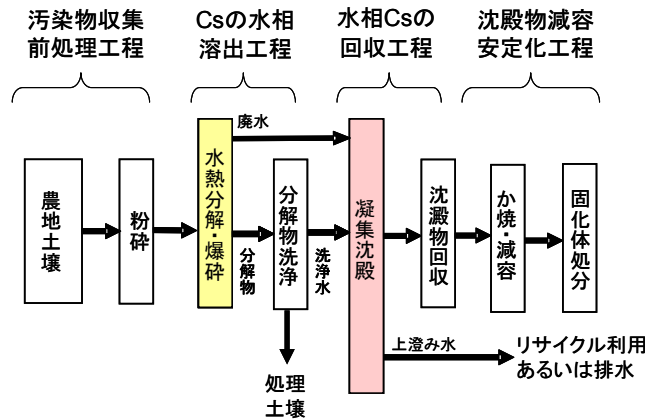


Fig.1 水熱分解・凝集沈殿複合プロセス

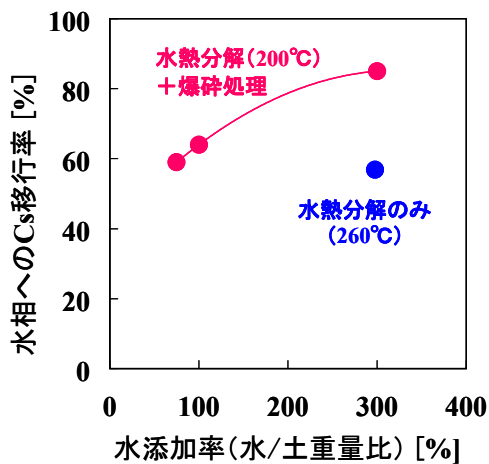


Fig.2 水熱分解・凝集沈殿複合プロセスによる汚染土壌からの Cs 回収

サマリウム-146は中性子不足核である p 核の一つで、その寿命のため隕石中の同位体異常により過去には存在していたが、現在の太陽系内には存在しない。p 核は $\sim 10^9$  K 以上の温度での光分解を主とする( $\gamma, n$ )や( $\gamma, p$ )反応、寄与は少ないとされているが( $p, \gamma$ )、( $p, n$ )、( $\alpha, \gamma$ )、( $\alpha, n$ )反応などで作られる。 $^{146}\text{Sm}$ を作る核反応は p 核の元素合成に関する経路や生成速度に関する情報があり、その一方で $^{146}\text{Sm}$ の半減期は $^{146}\text{Sm}$ - $^{142}\text{Nd}$ 法における年代を与えてくれる。 $^{146}\text{Sm}$ の半減期の測定値はこれまで $\sim 50$  My から 103 My の間を変遷し、現在は 103 My が用いられているが、これらの経緯による年代への影響ははかり知れない。我々のグループは、上記の核反応断面積測定を行うと共に、 $^{146}\text{Sm}$ の半減期測定を行ってきた。

特に $^{146}\text{Sm}$ の半減期測定において、原子数と放射能の関係から半減期を算出し、質量分析における原子数の測定では、同重体の $^{146}\text{Nd}$ の干渉を受けるので、同重体の分離が可能な測定手法が必要不可欠になる。アルゴン国立研究所において ECR イオン源、超伝導ライナック ATLAS、ガス充填電磁石を使った加速器質量分析の手法を開発し、34%短い $68 \pm 7$  My の半減期を得た。様々な再測定を行ったが、半減期が 34%短くなった実験上の問題点は特に考えられず、宇宙・地球化学的手法により半減期を検証し、地球・月・火星についてこれまで報告のある $^{146}\text{Sm}$ - $^{142}\text{Nd}$ 年代の再検討を行った。

$^{146}\text{Sm}$ - $^{142}\text{Nd}$ 年代法では太陽系誕生時(4.567 Ga)の $^{146}\text{Sm}/^{144}\text{Sm}$ 比が $^{146}\text{Sm}$ の半減期で減少し、目的物の $^{146}\text{Sm}/^{144}\text{Sm}$ 比になるまで時間を見積もる。半減期 34%短くなることで太陽系誕生時の $^{146}\text{Sm}/^{144}\text{Sm}$ 比は $0.0085 \pm 0.0007$  ( $2\sigma$ )から $0.0094 \pm 0.0005$  ( $2\sigma$ )へと修正された。鉱物中に見つかっている Nd 同位体異常と $^{146}\text{Sm}$ 半減期、太陽系誕生時の $^{146}\text{Sm}/^{144}\text{Sm}$ 比により、再検討された $^{146}\text{Sm}$ - $^{142}\text{Nd}$ 年代を Table 1 にまとめた。月の岩石試料の一部では、同一試料からの Pb-Pb 法と $^{147}\text{Sm}$ - $^{143}\text{Nd}$ 法による年代も報告されている。Pb-Pb 法では $^{235}\text{U}$ と $^{238}\text{U}$ 、 $^{147}\text{Sm}$ - $^{143}\text{Nd}$ 法では $^{147}\text{Sm}$ の半減期を利用し、これらの半減期は高精度に測定された値が利用されている。 $^{146}\text{Sm}$ の半減期に 68 My を用いることで、これらのすべての年代が太陽系誕生の約 2 億年後に収束し、 $^{146}\text{Sm}$ の半減期も真の値に近づいたと考えられる。また、地球の岩石、月のマグマ、火星のマントルの固化年代についても、これまでの値と数千万年のずれが生じ、太陽系の年代から考えると短い変化であるが、太陽系の進化を考える上でも非常に大きなインパクトとなった。

Table 1 Ages after solar system formation determined by  $^{146}\text{Sm}$ - $^{142}\text{Nd}$ , Pb-Pb, and  $^{147}\text{Sm}$ - $^{143}\text{Nd}$  dating.

Planet	Age after solar system formation (My)			
	$^{146}\text{Sm}$ - $^{142}\text{Nd}$ 103 My	$^{146}\text{Sm}$ - $^{142}\text{Nd}$ <b>68 My</b>	Pb-Pb	$^{147}\text{Sm}$ - $^{143}\text{Nd}$
Earth	$\leq 30$	$\leq \mathbf{30}$	-	-
	170	<b>120</b>	-	-
	$287^{+81}_{-53}$	<b><math>205^{+54}_{-35}</math></b>	-	-
Moon	$242 \pm 22$	<b><math>170 \pm 15</math></b>	-	-
	$250^{+38}_{-30}$	<b><math>170^{+25}_{-20}</math></b>	$208.8 \pm 2.4$	$201 \pm 11$
Mars	8 - 25	<b><math>\sim 4</math></b>	-	-
	$\sim 110$	<b><math>\sim 90</math></b>	-	-