

福島県南相馬市周辺の湧水，地下水，自噴井の水質・安定同位体の特徴と津波浸水後の水質変化について

Characteristics of water quality and stable isotopes in spring water, groundwater and artesian well at Minamisoma City and consideration of the water quality change after Tsunami.

*藪崎 志穂^{1,3}、稲葉 修²、仲川 邦広²

*Shiho Yabusaki^{1,3}, Osamu Inaba², Kunihiro Nakagawa²

1. 総合地球環境学研究所、2. 南相馬市博物館、3. 福島大学

1. Research Institute for Humanity and Nature, 2. Minamisoma City Museum, 3. Fukushima University

東北地方太平洋沖地震が発生した後の2012年9月より、福島県沿岸域の地下水調査を行っている。津波の浸水被害や原子力発電所事故に伴う汚染物質の問題に対応するため、地下水流動や涵養域の把握、滞留時間を推定することを目的として実施している。これまでに新地町、相馬市、南相馬市、浪江町、大熊町に加え、飯舘村や伊達市等を含む沿岸域から内陸部にかけての広範囲を対象として、地下水、湧水、河川水等の調査を実施し、水質の特徴や時間変化について観測を行っている。本発表では、これまで行った調査の中で、2016年12月に実施した南相馬市の沿岸地域の地下水と湧水について焦点をあて、水質の特徴等の報告を行う。

調査は2016年12月29～30日に実施した。南相馬市の湧水4地点、地下水5地点（内、自噴井4地点）、および相馬市の地下水（自噴井）1地点において、調査・採水を行なった。南相馬市の調査地点では、継続して調査を行っている地点（2地点）、および過去に調査を行った地点（1地点）が含まれている。南相馬市の調査地点は、鹿島区、原町区、小高区の沿岸近くに位置しており、一部地点は津波の浸水被害を受けている。現地ではEC（電気伝導率）、pH、水温、ORP、湧出量を測定し、採水試料として、無機溶存成分、酸素・水素安定同位体、微量元素、Sr同位体用をそれぞれ採取した。試料は採取後、速やかにろ過を行い、微量元素およびSr同位体分析用には濃硝酸を少量添加した。水質の測定は、無機溶存成分はICS-3000、 HCO_3^- はpH4.8アルカリ度滴定法、微量元素はICP-MS（Agilent 4800cx）を利用して実施した。Sr安定同位体（MC-ICPMS）は今後分析する予定である。

現地調査ならびに水質分析の結果、以下の事柄が明らかとなった。

1) 水質組成（無機溶存成分）は地点によって異なっているが、 $\text{Na}-(\text{Cl}+\text{SO}_4)$ 型、 $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ 型、 $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型の3種類に概ね区分できる。このうち、 $\text{Na}-(\text{Cl}+\text{SO}_4)$ 型を示すのは1地点で津波の浸水被害を受けた湧水であり、その影響が未だ残っていると思われるが、ECは30.6 mS/mで海水（約4500 mS/m）と比べると非常に低く、海水そのものが残っているのではなく、浸水時に土壤中にもたらされた海水成分（塩分）が湧水に溶出していると考えられる。この地点は2012年より継続して観測を行っており、2012年12月の時点ではECは約100 mS/mであったが、その後、徐々に低下してきており、影響は少なくなってきたと言える。その他の地点でも津波による被害を受けた地点（自噴井）が複数あるが、いずれも海水成分は認められず、津波の影響は残っていないことが明らかである。こうした特徴は、2012年12月の時点でも確認されており、沿岸域付近の自噴井は比較的深部を流れている地下水が多いことが推察できる。

2) 一般的に、 $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型を示す地下水・湧水は相対的に滞留時間の長い水とされており、今回調査を行った2地点（南相馬市の地下水、相馬市の自噴井）においてもこの水質組成が確認された。これら2地点の $\delta^{18}\text{O}$ および δD は、他の地点（ $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ 型および $\text{Na}-(\text{Cl}+\text{SO}_4)$ 型を示す地点）の同位体比よりもやや低い値を示していることから、より標高の高い地点（阿武隈山地の周辺を想定）で涵養された水であることが予想される。2016年11月に実施した標高別河川水調査の結果から求めた高度効果（ $\delta^{18}\text{O}$ ： $-0.29\text{‰}/100\text{ m}$ 、 δD ： $-2.0\text{‰}/100\text{ m}$ ）を用いて計算したところ、 $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型を示す2地点の地下水および自噴井は $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ 型

を示す自噴井よりも300 mほど標高が高い地点で涵養されたことが示された。この結果は、上述した阿武隈山地における涵養の存在と矛盾が無い。

3) 沿岸域の自噴井でもCa-HCO₃型とNa-HCO₃型を示す地点が存在しており、場所によって地下水流動系は異なることを示唆している。今後、特に自噴井の調査地点を追加することにより、より詳細な地下水流動系を把握してゆきたいと考えている。

4) 微量成分では、MnとFeが多く含まれており、特に南相馬市原町区の一部地点（自噴井）においてFeは2~3 mg/Lと非常に高い濃度を示している。南相馬市の沿岸域ではFeが多く含まれる地下水（浅層地下水および深層地下水）があることが住民への聞き取りにより把握しており、Feを多く含む地質由来であることが予想される。地下水や湧水のFe、Mn等の微量成分の濃度分布については今後も調査を続け、これらの起源について更に検討を進めてゆく。

5) 地質の違いによりSrの安定同位体比には差異が生じるため、涵養域の違いを把握できる可能性が高い（Srの濃度は地点によって異なっている）。今後、Sr同位体比と水質等を併せて考察し、地下水流動や涵養域について更に考察を進めてゆく予定である。

キーワード：南相馬市、地下水、湧水、自噴井、水質、津波

Keywords: Minamisoma City, groundwater, spring water, artesian well, water quality, Tsunami

Quantitative estimate of ^{137}Cs load characteristics in Kuchibuto river watershed

*内藤 舜斗¹、大西 健夫¹、保高 徹生²、中村 公人³、宮津 進⁴

*Kiyoto Naito¹, Takeo Onishi¹, Tetsuo Yasutaka², Kimihito Nakamura³, Susumu Miyazu⁴

1. 岐阜大学、2. 産業技術総合研究所、3. 京都大学、4. 農業・食品産業技術総合研究機構

1. Gifu University, 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 3. Kyoto University, 4. National Agriculture and Food Research Organization

^{137}Cs has major impact on the environment due to its long half-life (30.1 years). To understand ^{137}Cs load characteristics in the watershed, we estimated the effective ^{137}Cs half-life in the Kuchibuto river watershed by calculating the ^{137}Cs load in the river. Watershed area is 22km^2 , elevation is from 329m to 1,050m. Annual precipitation and average temperature is 1,158mm and 14°C respectively. The research watershed was covered with forest (74%), agricultural land (17.4%) and paddy field (7.6%). And, soil types are brown forest soil (51%) and Andosol (49%).

During the period from 6 July 2014 to 24 August 2015, we measured river discharge, SS, and ^{137}Cs concentration. Utilizing measured data, we attempted to estimate the ^{137}Cs load during non-observed period. First, Soil and Water Assessment Tool (SWAT) was utilized for river discharge estimate. Model warmup period was from 2008 to 2010. For the calibration, 2000 times simulation was conducted with Latin Hyper-cubic method from 1 October 2014 to 31 May 2015. Validation was also conducted from 6 July 2014 to 30 September and from 1 June 2015 to 24 August 2015. The model performance was assessed by Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) and regression coefficient (R^2). Particulate ^{137}Cs concentration was calculated by regression curves between discharge and suspended solid (SS), and SS and ^{137}Cs concentration. Regression curves were constructed from observed discharge [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$], SS [g L^{-1}] and ^{137}Cs concentration [Bq L^{-1}], and bias was compensated. Dissolved ^{137}Cs was also calculated by using the partition coefficient which was ratio of particulate and dissolved ^{137}Cs in the river. For uncertainty analysis, 95% confidential interval of ^{137}Cs load was estimated by using the composition of Gaussian distribution of each regression curves from 1 October 2014 to 31 May 2015. Discharge uncertainty was estimated by the sequential uncertainty fitting (SUFI).

During the observed period (6 July 2014 - 24 August 2015), particulate and dissolved ^{137}Cs load was calculated at 6.1×10^8 and $1.5 \times 10^6 \text{ Bq km}^{-2}$ and these values were equal to 0.26% and 0.00065% of total ^{137}Cs deposition on the watershed (5.13TBq , 28 December 2012 at present). Through the hydrological simulation by SWAT, total load of ^{137}Cs from 2013 to 2015 were estimated. For about the model performance, NSE and R^2 for calibration and validation were 0.75, 0.76 and 0.50, 0.54 respectively. Especially, in September 2015, large scale rainfall event (165mm day^{-1}) was occurred and this event contributed to huge amount of ^{137}Cs discharge in 2015. Annual total ^{137}Cs load excluding this rainfall event in September 2015 was $2.41 \times 10^8 - 2.86 \times 10^8 \text{ Bq yr}^{-1} \text{ km}^{-2}$ which was equal to about 0.1% of total ^{137}Cs Cs deposition. Otherwise, annual particulate and dissolved load including the large scale rainfall event in September 2015 were estimated at $2.41 \times 10^8 - 6.8 \times 10^{10} \text{ Bq yr}^{-1} \text{ km}^{-2}$ and $8.7 \times 10^5 - 5.76 \times 10^7 \text{ Bq yr}^{-1} \text{ km}^{-2}$ respectively and these values were equal to 0.1 - 29% of total ^{137}Cs deposition in this watershed. However, it needs to be paid attention that the estimation of this huge scale rainfall might have large uncertainty because our observed period did not cover such large event. Lastly, effective ^{137}Cs half-life with consideration of ^{137}Cs load was calculated at 4.33 years according to our point estimation, and it appears that total amount of ^{137}Cs in the watershed is decreasing to 0.82% of initial ^{137}Cs amount within next 30 years. However, according to our uncertainty analysis, uncertainty range of ^{137}Cs load was crossing over 2 - 3 orders, thus, effective ^{137}Cs half-life is also probably highly uncertain. Thus, to obtain

more accurate estimate, we need to improve the model performance during the extremely high flow events.

キーワード：福島第一原子力発電所事故、セシウム137負荷量、SWAT

Keywords: Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Cesium137 load, SWAT

福島の未除染森林からの流出水中のCsのモニタリング Monitoring of radioactive Cs in stream discharge from small un-decontaminated forest in Fukushima

*西村 拓¹、濱本 昌一郎¹、二瓶 直登¹、篠原 魁¹

*Taku Nishimura¹, Shoichiro Hamamoto¹, Naoto Nihei¹, Kai Shinohara¹

1. 東京大学大学院農学生命科学研究科生物・環境工学専攻

1. Department of Biological and Environmental Engineering, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, University of Tokyo

Huge amount of radioactive materials were emitted by the accident of Fukushima dai-ichi nuclear power plant following to the Great East Japan Earthquake on March 2011. Five years have passed and decontamination has been proceeding at residential area and agricultural fields. Some evacuated areas are planning to accept return of former residences. However, especially in Fukushima, forest covers large area of the polluted region. A 70% of the area in Fukushima is covered by forest and most of them are still un-decontaminated. For returning village people, effects of polluted forest is important issue. From May 2016, we set monitoring and water sampling facility at the outlet of a small un-decontaminated forest. Water sampling was conducted when water level of the stream exceeded a threshold. Stream data and climate data at neighbor were transfer to the data storage by Field Reuter (X-ability, Inc.).

Water level-flow rate relationship and turbidity-suspension concentration relationship were determined, separately. Discharge of radioactive Cs was estimated by using those equations. Estimated discharge was 1470 MBq for 6 months since May till November, 2016. The number was 0.1 to 0.4% of the initial deposit (1 to 3 MBq m⁻²) of radioactive Cs at the nuclear power plant accident on March 2011.

Suspended sediments filtered by 0.45 μm mesh membrane filters were subjected to imaging plate analysis. When suspended sediments seemed to be inorganic particles such as silt, sediments evenly contained radioactive Cs while when most of the sediments were consisted of organic matter, only several strongly radioactive Cs holding particles contributed most of radiation of the sediments. This suggested radioactive Cs in a sediment flowing a stream may variate temporarily depending on watershed conditions.

キーワード：放射性セシウム、森林、流出

Keywords: radioactive cesium, forest, discharge

土壤有機物がセシウムの移動に与える影響

Effects of Soil Organic Matter on Transport of Cesium in weathered granite soil

*辰野 宇大¹、濱本 昌一郎¹、西村 拓¹

*Takahiro Tatsuno¹, Shoichiro Hamamoto¹, Taku Nishimura¹

1. 東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻

1. Department of Biological and Environmental Engineering, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, University of Tokyo

To grasp migration of radiocesium (Cs) in soil is an important issue after the accident of Fukushima Dai-ichi nuclear power plant, Japan. The soil organic matter (SOM) is one of the components to affect Cs transport. There are two possible cases for SOM-induced Cs transport. First, SOMs in solution carry Cs to deeper soil layer. Second, SOMs sorbed on the soil solid surface inhibit Cs fixation, resulting in enhancement of Cs mobility. Cs concentrations in soil water are also one of important factors to affect Cs transport. In this study, we experimented effects of organic matters, dissolved organic matter (DOM), humic acid (HA) and fulvic acid (FA), on the Cs transport in the soil by laboratory column experiment using different concentrations of Cs solution.

Soil sample was collected at an abandonment forest in Iitate, Fukushima, Japan. Dissolved organic matter was extracted from a litter from university forest in Chichibu, Saitama. Two Cs solutions are used, high (30 mg/L) and low (1000 Bq/L) concentration. High concentration solution was stable CsCl solution, and low one was extracted from organic soils in Iitate. The acrylic plastic column having a diameter of 3-cm and a length of 7-cm was used for the experiment. Two different treatments were applied for the repacked soil (control and organic adsorbed soil columns). The control soil column was prepared by repacking air dry soil sample up to 5cm of height. The organic adsorbed soil column was prepared by flowing dissolved organic matter for 24 hours to the control soil column. In the column experiment, Cs or Cs-DOM mixed solutions were applied under a constant ponding depth. Effluent Cs concentration was measured. After the transport experiments, the column was sliced in 1-cm interval and the soil at each section was used for the sequential extraction of Cs.

As a result of preliminary column transport experiment where high concentration Cs solution was applied to the 10cm long soil column, Cs accumulated within surface 4cm thick layer, while Cs mixed with DOM solution could move into 10-cm deep soil layer. Sequential extraction suggested most of Cs at deeper layer was complexed with organic matter.

キーワード：福島、セシウム、溶存有機物、フミン酸、フルボ酸

Keywords: Fukushima, cesium, dissolved organic matter, humic acids, fulvic acids

Effects of soil clay minerals on radiocesium transport in soil

*Kosuke Noborio¹, Muku Shiozawa¹, Yuki Sunakawa¹, Yuki Takagi¹, Eiko Inao²

1. Meiji University, 2. Miyagi Prefecture

In 2011 the fallout of radiocesium, Cs-134 and Cs-137, originated from the Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant contaminated soils in the Pacific coast side of northern Japan. The most of the fallout-radiocesium on the soil surface was reported to be remained in the surface layer in Fukushima Prefecture. There are two major soils with different clay minerals in Miyagi Prefecture, a northern next neighbor of Fukushima Prefecture: (1) volcanic ash origin soil with allophane found in the northern part of Miyagi Prefecture, and (2) granite origin soil with vermiculite found in the southern part of Miyagi Prefecture. Column experiments were conducted in a constant temperature room. The soils were uniformly packed in the columns and saturated with distilled water supplied from the bottom of the columns. A 160 mL of KCl solution with 1.5 kBq/kg exchangeable radiocesium was supplied with a rate of 10 mL/h from the top of the soil columns. Effluent from the bottom of each soil column was collected every two hours and analyzed for the concentrations of Cs-134 and Cs-137, dD and dO-18, and KCl. After applying 800 mL distilled water with a rate of 10 mL/h from the top of the soil columns, the soil columns were dissected with 1 cm thick and analyzed for the concentrations of Cs-134 and Cs-137. No or less than the detection limit of Cs-134 and Cs-137 was found in the effluents of all the columns although the solution containing the radiocesium was completely drained out with 2 pore volumes of effluent. The distributions of Cs-134 and Cs-137 in the volcanic ash origin soil and the granite origin soil were very different. The radiocesium reached near the bottom of the column for the volcanic ash origin soil whereas the radiocesium stayed near the soil surface for the granite origin soil. This difference might be attributed to different clay minerals contained in the soils. Our results implied that the prediction of radiocesium transport in soil should be accounted for clay minerals.

Keywords: adsorption, advection, breakthrough curve

吸着資材の添加が草地土壌中の放射性セシウム動態に与える影響 Effects of inorganic amendments on radiocesium behavior in grassland soil

*本間 雄亮¹、濱本 昌一郎¹、小暮 敏博¹、西村 拓¹

*Homma Yusuke¹, Shoichiro Hamamoto¹, Toshihiro Kogure¹, Taku Nishimura¹

1. 東京大学

1. The University of Tokyo

The accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant occurred in 2011, resulting in contamination of agricultural fields by radioactive substances such as ¹³⁷Cs (RCs). Potassium (K) fertilization is typically considered as an effective countermeasure for reducing RCs uptake by plants. However, in case of a pasture, K fertilizer application results in increase in pasture K concentration, causing a metabolic disease for cattle known as grass tetany. Therefore, in the grassland polluted by RCs, alternative countermeasures for reducing RCs uptake are required. In this study, we investigated the effect of adsorbent applications on the RCs behavior in grassland soil.

Soil samples were taken from a grassland polluted by RCs at the surface layer (from 0 to 5cm) in Fukushima prefecture. Zeolite and weathered biotite were selected as adsorbents. The soil was adjusted to different water contents (0.86, 1.2) and the adsorbents were added at 0.5, 2.5, 5g per 50g dried soil. Incubation was conducted in constant temperature (20°C) room. Incubation duration was 7, 28 and 112 days. After that, 1M ammonium acetate with soil: solution ratio of 1:4 (dried soil: solution) was added and shaken for 6 hours. Suspension was filtered by 0.45 μm membrane filter. Cs concentration (exchangeable Cs, Ex-Cs) in the filtrates were measured by a Ge semiconductor detector.

With increasing adsorbents added to the samples, the concentration of Ex-Cs decreased where more decrease in Ex-Cs was observed for the sample at higher water content. Zeolite decreased concentration of Ex-Cs more than weathered biotite in same soil: solution ratio.

This research was supported by grants from the Project of the NARO Bio-oriented Technology Research Advancement Institution (the special scheme project on regional developing strategy).

キーワード：福島、セシウム、吸着資材

Keywords: Fukushima, cesium, inorganic amendments

Application of Soil Radioactivity Data to Environmental Contamination Recovery

*Misa Yasumiishi¹, Chris S. Renschler¹

1. University at Buffalo, The State University of New York

Response to an environmental disaster consists of three domains: Human perception of the event, the concerned environmental processes, and the data and analytical tools. Human perception of the event (cause, effect, future prediction) would affect the disaster recovery and mitigation planning. Building a proper plan requires an understanding of the physical landscape processes. To understand the landscape processes, field data and data analysis tools are utilized. Together, these three domains combine to present a whole aspect of the disaster situation which needs to be tackled.

During the summer of 2016, soil samples were collected in a village in Fukushima, Japan for radioactivity level assessment. Following the nuclear plant accident in 2011, environmental decontamination efforts, including surface soil scraping, have been taken place in the areas affected by the radioactive fallout. In this study, based on the collected soil radiation data, the relationship among the three domains (human perception, landscape processes, and data) in case of Fukushima is analyzed.

The challenge, which soil data presents, is the inherent geological and landscape heterogeneity, movability, and its three-dimensionality. The land types of the sampling site include natural forests on hills, the foot of the forests where the ground surface was decontaminated, and a rice paddy in the lowlands whose surface soil was replaced. In an effort to identify the storage and the subsurface movement patterns of radioactivity, numerical statistical analysis and two- and three- dimensional visualization analysis are attempted.

The preliminary results indicate a few issues in the three-domain model. With regard to human perception, decision makers' perception about the land processes pose enormous effects on the later implementation of recovery measures. Physical process modeling indicates that the forests are acting as a natural storage for elevated radioactivity, although the natural storage would work differently compared with a man-made storage. As for data handling, horizontally and vertically distributed soil samples impose challenges in visualization. Still, visualization attempts show the certain radiation 'sink' areas in the landscape.

Addressing shortcomings in each domain and filling gaps in the interconnection among them would present an insight which is relevant to disaster response and recovery in general.

Keywords: radiation, radioactivity, soil, decontamination, geography, GIS

ブルーベリー栽培環境を対象とした人工マクロポアを用いた放射性セシウムの下方浸透促進効果

Artificial Macropore Installation for Enhancing Vertical Transport and Fixation of Radioactive Cesium at Blueberry Farm.

*森 也寸志¹、林 匡紘¹、稲生 栄子³、登尾 浩助²

*Yasushi Mori¹, Masahiro Hayashi¹, Eiko Inao³, Kosuke Noborio²

1. 岡山大学大学院環境生命科学研究科、2. 明治大学農学部、3. 宮城県農業・園芸総合研究所

1. Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, 2. Faculty of Agriculture, Meiji University, 3. Miyagi Prefectural Institute of Agriculture and Horticulture

東日本大震災によって、福島第一原子力発電所から放射性物質が漏れ・拡散が起こった。事故から数年経った現在では、環境中に放出された放射性物質が土壤中を降下し、根から植物に吸収される事が危惧されている。土壤に降下した放射性セシウムは粘土鉱物に強く吸着されているが、有機物含量の多い土壤では、粘土鉱物を多く含む土壤に比べて放射性セシウムとの吸着が弱く、植物へ吸収されやすいと考えられる。根群域にある放射性セシウムは農作物に吸収される可能性があるため、もし、迅速に根群域を超えて下方に浸透させ、鉱物層に吸着させられるのであれば有利である。そこで、本研究では有機質土壤であるピートモスを植栽とするブルーベリーを対象とし、ポットでの放射性セシウムの移動実験を行った。特に、下方浸透に効果があるとわかってきた疑似間隙構造である人工マクロポアを使って表層に存在する放射性セシウムを根群域下まで輸送する可能性を検証した。

ポットの底から黒ボク土5cm, ピートモス10cm, 汚染土壤(1925 Bq/kg) 5cmを詰めたものを6個準備し、「無施肥区・人工マクロポアなし」, 「無施肥区・人工マクロポアあり」, 「硫酸アンモニウム施肥区・人工マクロポアなし」, 「硫酸アンモニウム施肥区・人工マクロポアあり」, 「塩化カリウム施肥区・人工マクロポアなし」, 「塩化カリウム施肥区・人工マクロポアあり」とした。土壤に吸着した放射性セシウムを溶出させることを目的に硫酸アンモニウム(15g/ポット)を、また、ブルーベリーによる放射性セシウムの吸収抑制を目的に塩化カリウム(30g/ポット)施肥した。毎日0.76L/dayの灌水をおこない、実験開始から1年4ヶ月後に実験を終了とし、ポットを分解し、放射性セシウムを計測した。

「無施肥区・人工マクロポアなし」「無施肥区・人工マクロポアあり」では放射性セシウムは汚染土層から僅かに下方に移動した。人工マクロポアの周辺でも放射性セシウムの移動は5-10cm層までであり、人工マクロポア周辺と周辺以外での深度別放射能濃度の分布の違いはみられなかった。「硫酸アンモニウム施肥区・人工マクロポアなし」では、わずかに下方移動が見られたが、一方でブルーベリーの葉から放射能が検出され、下方に移動した放射性セシウムがブルーベリーに吸収された可能性が考えられた。「硫酸アンモニウム施肥区・人工マクロポアあり」では5-7.5cm層での放射能濃度が1000Bq/kgを超えており、無施肥区や「硫酸アンモニウム施肥区・人工マクロポアなし」に比べて高い値となっている。また、0-5cm層よりも5-7.5cm層のほうが放射能濃度が高い値となっており、人工マクロポアの効果によって放射性セシウムの下方移動が促進されたと考えられる。ただし、同様に植物体から放射能が検出された。また、人工マクロポア周辺の結果を見ると10-15cm層で200Bq/kgを超え、15-20cm層でも87.2Bq/kg放射性セシウムが検出された。他の区に比べて高い放射能濃度が下層で計測されており、すなわち、人工マクロポア周辺では下方浸透促進効果が大きいと判断できる。硫酸アンモニウムの施肥だけでは下方浸透促進効果がみられなかったが、人工マクロポアと組み合わせることで下方促進効果が大きくなったと考えられる。なお、塩化カリウム施肥は移動にはあまり効果がなかったが、植物体から放射性セシウムの検出はなく、植物体への吸収抑制をすることがわかった。ここから放射性セシウムの効果的な移動には、溶出・移動・吸収抑制のプロセスが必要であると推察できる。しかし、根群域下(黒ボク土層)への移動はあまりみられず、今後は硫酸アンモニウムと塩化カリウムを同時施用して、より効果的な移動と吸収抑制を同時に行うことを検討していきたい。

キーワード：人工マクロポア、放射性セシウム、下方浸透

Keywords: artificial macropore, radioactive Cesium, infiltration

Potential of Bioenergy Crop Production in Decontaminated Farmlands in Fukushima

*中島 亨¹、登尾 浩助¹

*Toru Nakajima¹, Kosuke Noborio¹

1. 明治大学

1. Meiji University

The devastating accident of Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant occurred due to Great East Japan Earthquake on March 11th, 2011. The projects of remediation lands and removal of radiocesium-contaminated soil from farmlands are still ongoing. Essentially, it is an important aspect to utilize those decontaminated farmlands for local farmers and communities. In Japan, the researchers have now been seeking how to start agricultural production from decontaminated farmlands, restructuring local communities, and economic activity in Fukushima. Globally, the research regarding the renewable energy resources, for example, *Miscanthus × giganteus*, have increased significantly. *Miscanthus × giganteus* has the high potential for a biomass energy crop, because of high biomass yield with low annual energy requirements and financial inputs, including tillage and planting practices and fertilizer, herbicide, and pesticide application. In addition, *Miscanthus × giganteus* can growth under severe soil condition such as dilapidated land or reclaimed mine land. Under *Miscanthus × giganteus* cultivation, their nitrogen recycles system is sufficient, because the nitrogen is recycled as it moves from the rhizosphere into the developing shoots during spring and summer, and is transferred to the rhizosphere in fall and winter. If shoots are harvested, the nutrients remain in the rhizosphere. It can be utilized for *Miscanthus × giganteus* shoot growth in the coming season. The previous research showed that the average biomass yield of *Miscanthus × giganteus* over 6 years was 25.6 Mg ha⁻¹ year⁻¹ in Northern Japan. In addition, our previous research revealed that carbon sequestration rates of *Miscanthus × giganteus* were 1.96 Mg-C ha⁻¹ year⁻¹ over the 6 years of this research trial. *Miscanthus × giganteus* generally increase SOC stocks due to the greater carbon inputs of above- and belowground biomass and no tillage. Therefore, the objective of this research was to estimate the potential of bioenergy production through *Miscanthus × giganteus* cultivation in decontaminated farmlands in Fukushima, Japan. The key findings are outlined below: (1) *Miscanthus × giganteus* can be the new insight for agricultural production from decontaminated farmlands, (2) due to the high carbon sequestration under *Miscanthus × giganteus* cultivation, the fertility of decontaminated farmlands can be improved, (3) more field experiments need to be done in order to develop the bioenergy crop production.

キーワード：除染後農地、ジャイアントミスカンサス、バイオエネルギー

Keywords: Decontaminated farmlands, *Miscanthus × giganteus*, Bioenergy

養液土耕栽培制御システムによるハウス栽培支援

Supporting Greenhouse Cultivation Using Fertigation Control System

ZeRo.agri

*小沢 聖¹、喜多 英司²

*Kiyoshi Ozawa¹, Eiji Kita²

1. 明治大学 黒川農場、2. 株式会社ルートレック・ネットワークス

1. Meiji University Kurokawa Field Science Center, 2. Routrek Networks, Inc.

2015年に福島県飯舘村の菅野宗夫さんの要請を受け、村の将来の農業のひとつの見本とする事例として、老朽化パイプハウスを改修し、ICT養液土耕栽培システム「ゼロアグリ」を導入した。養液土耕栽培とは、供給する灌漑水に肥料を混ぜ、主に点滴灌水チューブで作物の株元供給する栽培方法で、1960年代に灌水量節約のためにイスラエルで開発された。明治大学と㈱ルートレック・ネットワークスで、2013年にこれを自動化する「ゼロアグリ」を開発し、市販している。制御部と駆動部に分かれ、センサーはハウス外の日射センサー、ハウス内の地温、土壌水分、土壌EC（電気伝導率：主要な肥料源である硝酸に強く反応する）を同時測定する土壌センサー（ハイドロプローブII）からなる。センサーで測定するデータを制御部のデータロガーに記録し、インターネットでクラウドに送信し、そこでデータを基に供給培養液の量と濃度、供給時刻を計算し、この結果を制御信号としてインターネットで制御部に戻し、駆動部の電磁弁を開閉して培養液供給を管理する仕組みである。圃場には点滴灌水チューブで培養液を供給する。温湿度計、ウェブカメラなども設置できる。

作物の1日の水と肥料の要求量は日射量に比例するため、培養液は時刻ごとの日射量に比例させ供給する。また、土壌水分と土壌ECが一定値になるように培養液の供給量と濃度を別に制御することで、作物生長による水と肥料の要求の増加、ハウス下層土から根圏土壌への水浸入による作物の灌水要求の低下などに対応できる。栽培者は、作物の生育状況を観察して、土壌水分と土壌ECの制御値を変更する。いわば、このシステムは栽培者と協業する半自動である。制御の変更にはタブレット端末を利用するので、すべてのデータはクラウドに蓄積され、栽培者の「経験と感」が数値化される。このデータを、翌年の栽培に利用したり、経験が不十分な栽培者に提供したりできる。地域で導入すれば、栽培が上手な人と下手な人との比較ができ、地域全体の改善に利用できる。

飯舘村では、震災以前、水稻と酪農を中心とした農業が営まれていた。2017年4月から帰村が開始されるものの、水稻の価格暴落に改善の見込みはない。また、牧草地は常に放射線汚染の危険に曝されているため、酪農再開の目処もたない。さらに地形の制約で、大規模な畑地を利用する農業に可能性は乏しい。このような背景で可能性が高いのがハウスを利用した施設園芸である。20から30aの面積で家計収入を賄う農業経営が可能である。さらに、飯舘村の標高の高い地域では、やませの進入の助けもあって夏の果菜類の生産に適している。一方、冬の低温による短所は、ハウス導入で高まる日射量の豊富さがもたらす長所が十分に補う。また、岩手県三陸沿岸で、岩手大学、ルートレック・ネットワークスと共同開発した「高度不耕起輪作」で冬の生産性を飛躍的に高められる期待がある。「高度不耕起輪作」とは、作物生育が遅い冬に、従来直播していた作物を移植で栽培回数を増やす方法である。岩手県三陸沿岸では、これまで「春夏キュウリ→秋冬ホウレンソウ」であった作型を、「春夏キュウリ→秋レタス→冬春移植ホウレンソウ2作」に改善し、農家の農業経営全体での収入を28%増加できた。飯舘村で2015から2016年に、「春夏ピーマン→秋レタス→冬春移植ホウレンソウ2作」で検討したところ、十分に適用可能との結論を得た。帰村できない「通い」での作物栽培を「ゼロアグリ」が十分に支援した。帰村が果たされても、ハウスでの野菜、花き生産の経験に乏しい村民、十分に農業に時間をさけない村民にとって、「ゼロアグリ」の役割は極めて有効と考える。さらに、「ゼロアグリ」の情報共有機能を利用することで、村、農協、普及センターなどが地域全体を円滑に支援できる体

制の確立が期待できる。

近年、ICTを農業に利用する試みは多い。しかし、ほとんどが現実とかけ離れて目標だおれに終わっている感がある。このような状況をみて、本研究で飯舘村では栽培論、社会論とリンクした現実的な復興支援技術の確立が求められる。

農業への企業参入による復興は、疲弊する被災地を活性化するうえで不可欠な選択枝である一方で、過度な企業参入で被災地が労働者ばかりになると、消防団、冠婚葬祭、水路管理などの非経済活動に支障をきたしかねない。自営農家の経済活動の向上によって被災地を支援することが極めて重要な所以である。

ICT業界では、機械と機械をつなぐ意味の「Machine to Machine」を「M2M」と略して表現する。これを「Man to Man」にすることを目指す。Manには現存しない過去の人も含む。日本の農業を支えてきたのは先人の「経験と勘」である。将来、被災地の復興に関わった人材も先人として扱われる。彼らの業績を数値化して次世代に伝えたいという思いも込める。

キーワード：養液土耕、ハウス栽培、制御システム

Keywords: Fertigation, Greenhouse Cultivation, Control System