

東日本大震災からの農林水産業の復興に向けて
—被害の認識と理解、復興へのテクニカル リコメンデーション—

日本農学会

公表にあたって

日本農学会 会長 大熊 幹章

去る3月11日、東北地方太平洋沖で発生した巨大地震、続いて起こった大津波により東日本の沿岸地域を中心に農林水産業は未曾有の被害を受けました。大震災から6ヶ月を経てようやく復興庁が新設され、復興政策の実施がいよいよ本格化されるなど、少しずつ復興、復旧への動きが加速してきました。一方、東京電力福島第一原子力発電所の事故については、放射性物質の放出、環境放射能の変動と分布、放射性物質の降下、森林・土壌の汚染などの状況がほぼ明らかにされ、同時に原子炉の冷却が進み、いずれの炉でも100℃以下の冷温状態が維持され、更なる放射性物質放出の恐れは大幅に後退しました。各地域で除染などを進め、生活・産業両面における早期の復旧を具体化する段階に入りました。

農林水産業が受けた震災被害と放射能汚染という双方の問題に関して知見を集積してきた農学部門の各研究者は、震災発生直後から有益な情報の発信を続けるとともに、政府の農林水産業関連調査の中心的な役割を果たし、また、関係都道府県が行う調査研究を積極的に支援してきました。

さて、日本農学会は、狭義の農学はもとより農芸化学、獣医・畜産学、水産学、林学、農業工学・農業経済学など広い分野をカバーする51の農学系学会の連合体であり、東日本大震災に関しても会員学会間の情報交換に努め、各学会活動の集約、支援を行ってきたところですが、社会に対する農学の窓口になる役割についても深く認識してきました。そこで、大震災発生から6ヶ月を経過した段階で、会員学会の中から代表者に出いただき、ワーキンググループを設置し、農林水産業が受けた被害の実態について「認識」と「理解」を共有し、今後の復旧・復興に対する「テクニカル リコメンデーション」を取りまとめました。

「認識」は、調査データから適格に実態を示すものを選びました。これは専門を異にする日本農学会の会員が、この課題を取り扱うときの背景や論理の前提を確認することに役立つであろうし、めまぐるしい報道の中で、社会が次々と忘れ去る事実経過を再確認するのに有用であると考えます。

「理解」は、日本農学会の会員の調査研究より得られた知見、認識した事実から生ずる農林水産業の問題に関し、枢要な科学的理解を述べたものです。その際、記述は科学的裏付けのあるものに限りしました。

「テクニカル リコメンデーション」は、実態を認識し、その科学的理解に基づいた問題解決のための技術を提示したものです。現場には固有の問題が多々あり、解決の方途も現実的に定まるでしょうが、その方向を探るとき、このテクニカル リコメンデーションが参考になれば幸いと考えます。

日本農学会は、ここに、「東日本大震災からの復興へ向けて—被害の認識と理解、復興へのテクニカル リコメンデーション—」を公表いたします。

東日本大震災の復興に対する農学の役割ワーキンググループ委員一覧

三輪 睿太郎 (座長)	日本土壌肥料学会・実践総合農学会
山内 啓太郎 (副座長)	日本畜産学会
川邊 洋	砂防学会
後藤 逸男	実践総合農学会
加藤 茂	日本海水学会
国分 牧衛	日本作物学会
桑原 正貴	日本獣医学会
篠原 健司	日本森林学会
黒倉 壽	日本水産学会
斎藤 馨	日本造園学会
宮口 右二	日本畜産学会
大谷 卓	日本土壌肥料学会
飯島 泰男	日本木材学会
佐瀬 勘紀	農業施設学会
小前 隆美	農業農村工学会
三橋 伸夫	農村計画学会

目 次

第1章 東北地方太平洋沖地震と津波の発生、建築物の倒壊、木質瓦礫の発生など 一般的被害の状況	
1. 地震と津波の概要	1
2. 建築物の損壊と瓦礫の発生	1
(1)建築物、とくに木造建築物の損壊	1
ア. 地震そのものによる住宅被害	2
イ. 津波による住宅被害	2
(2)木質瓦礫の発生	2
第2章 東日本大震災による農林水産業被害	
1. 被害の実態の認識	4
(1)農地の損壊	5
(2)農業用施設の損壊	6
(3)家畜・家禽および畜舎等の被害	6
(4)海岸林の被害	7
2. 被害に対する理解と復興へのテクニカル リコメンデーション	
(1)被災農地の復旧	
ア. 流失農地等ステージ 3,4 の重度の被災農地	7
イ. ステージ 1,2 の軽度な被災農地	8
(2)農業用施設の復旧	9
ア. ダム、ため池	9
イ. 水路	9
(3)被災した集落の農家の意識	9
(4)広域集落デザイン	10
(5)木質瓦礫の処理対策	11
第3章 放射能汚染による農林水産業被害	
1. 実態に対する現時点での認識	12
(1)福島第一原子力発電所からの放射性物質の放出	12
(2)放射性物質の降下と初期環境放射能の形成	12
(3)地表に降下した放射性物質の土壌・植物への定着	13
(4)土壌中の放射性物質による長期環境放射能の形成	14
(5)土壌に沈着し環境放射能を形成する放射性セシウムの 地理的分布	14

(6) 農地土壌の汚染状況	15
(7) 森林の汚染	16
2. 汚染の科学的理解	
(1) 土壌中のセシウム	18
ア. 存在形態	18
イ. 移動性	19
(2) 作物による吸収	19
(3) 可食部への移行	20
(4) 土の放射線遮蔽効果	21
3. テクニカル リコメンデーション	
(1) セシウム汚染農地の除染	22
ア. 汚染部位の除去	22
イ. 汚染粘土の除去あるいは表土の反転・希釈	24
ウ. ヒマワリなどの植栽による修復	24
(2) 作物のセシウム吸収の低減	24
ア. ゼオライトなど吸着材の添加	24
イ. カリ肥料の適正な施肥	24
(3) 森林の除染	25
(4) その他	26
おわりにかえて—農学の役割と責任—	27

第1章 東北地方太平洋沖地震と津波の発生、建築物の倒壊、木質瓦礫の発生など

一般的被害の状況

1. 地震と津波の概要

去る3月11日、14時46分三陸沖で発生した東北地方太平洋沖地震の概要は表1のとおりである。海溝型地震であり、直下型地震に比べて地震の規模の割には斜面災害や建物の倒壊の発生頻度は少なかったとはいえ、M9.0の地震の揺れと直後に海岸部を襲った8m規模の津波は、未曾有の巨大災害をもたらした。

表1 東北地方太平洋沖地震の概要

(気象庁、2011年8月時点)

発生日時	平成23年3月11日(金曜日)14時46分頃
震源	三陸沖(北緯38.1度、東経142.9度、牡鹿半島の東南東130キロメートル付近)
深さ	約24キロメートル(暫定値)
地震の規模	M9.0(暫定値)
各地の震度	
震度7	宮城県北部
震度6強	宮城県南部・中部、福島県中通り・浜通り、茨城県北部・南部、 栃木県北部・南部
震度6弱	岩手県沿岸南部・内陸北部・内陸南部、福島県会津、群馬県南部、 埼玉県南部、千葉県北西部
津波:津波の観測値	
宮古	最大波 11日15時26分 8.5メートル以上
大船渡	最大波 11日15時18分 8.0メートル以上
相馬	最大波 11日15時50分 7.3メートル以上

2. 建築物の損壊と瓦礫の発生

地震によって地域住民が受けた最も重大な生活被害である住宅の損壊と瓦礫の発生について、農学に関わる木造建築物、木質瓦礫を中心にしてその概要を示す。

(1) 建築物、とくに木造建築物の損壊

住宅被害は北海道から三重県に至る18都道県で発生した。表2に示すように、住宅の損壊は全壊(流失も含む)約12万棟、半壊約18万棟、一部破損62万棟である。とくに被害が大きかったのは岩手・宮城・福島・茨城の4県で、4県で全壊の99%、半壊の93%に達する。宮城・岩手県では全半壊件数のうち95%以上が沿岸部市町村(宮城県では仙台市全域を含む)での

主に津波による被害であり、震度 6 強～7 を記録したものの内陸部での被害は比較的少ない。

また、被災後、応急仮設住宅は国土交通省によれば岩手県約 14 千戸、宮城県約 22 千戸、福島県約 16 千戸、計 52 千戸が必要とされたが、現在、ほぼ完成している。

表 2 住宅被害の状況(消防庁 H23.10.11 および各県発表データによる)

	全壊	半壊	一部破損	全半壊件数のうちの沿岸部市町村比率
宮城	76,074	92,159	175,056	95.0%
岩手	20,209	4,529	7,145	95.8%
福島	18,007	52,001	144,586	59.3%
茨城	2,872	20,377	160,697	57.3%
その他	1,459	12,735	133,514	—
計	118,621	181,801	621,013	

注)警察庁集計とは数値が異なる。また、福島県の福島第 1 原発周辺のいくつかの地域では詳細不明のため集計には含まれていない。

これらの結果を含め、現状をまとめると以下ようになる。

ア. 地震そのものによる住宅被害

津波地域以外の住宅被害が目立つ地域は震度 6 強～7 を記録した茨城県（東部）、栃木県（北部）、福島県（中通・会津）、宮城県（内陸部）、岩手県（内陸南部）である。しかし地震動が木造住宅に被害を及ぼすといわれる周期 1～2 秒の成分がそれほど大きくなかったこともあり、新耐震法が確立された建築基準法施行(1981 年)以前に建てられた既存不適格建築物を除けば、被害は比較的少なかった。ただし、周期 1 秒前後の成分の強い地域もスポット的に観測されており、これらの観測点の近隣では木造建築物の被害が確認されている。

なお、傾斜地を造成盛土した地盤の崩壊(仙台市北部など)、埋め立てした軟弱地盤、砂地盤の液状化被害(千葉県浦安市、香取市水郷地区)などもある。

イ. 津波による住宅被害

津波被害はすべての全壊・半壊住宅約 30 万棟の 80%を占め、岩手・宮城では 95%に達する。津波による被害タイプは、

- ①土台一柱間の接合部の切断、家屋全体の流失
- ②土台一柱間の接合部は固定、水圧による外壁破壊、津波の流入
- ③②の水圧に加え、漂流物による外壁・軸材破壊、津波の流入

の 3 種に分類されるようであり、被災地での調査報告には「最大浸水深が 2 階軒高さ以上の場合、平屋・2 階建の木造住宅のほとんどは基礎・土台のみを残して流失していた」との記載

がある。なお、鉄筋コンクリート造、鉄骨造の建築物では躯体が残されているものもあるが、その内部は壊滅的な被害を受けている。

木造建築物の今後の津波対策について、被災に至るメカニズムの解明を基に、それぞれの建設地に想定された津波外力(主として津波の高さ)に対応可能で、被害を最小限に抑えることのできる木造建築技術の提案が求められている。

(2) 木質瓦礫の発生

大震災における災害廃棄物(以下、瓦礫という)の発生総量は、約2,500万トンといわれている。環境省発表の最新資料(表3)によれば、岩手・宮城・福島の沿岸市町村のみで約2,300万トンであるため、全体の92%が津波発生地域での瓦礫になる。うち家屋被害瓦礫量は約1,000万トンである。このうち木質系廃棄物の状況については以下ようになる。

まず阪神・淡路大震災の際の家屋解体による瓦礫のうち可燃物の重量比は20%といわれており、うち大部分が木材と仮定して推計すれば、津波被災地から発生した家屋由来の木材瓦礫量は約200万トンとなる(なお、建築研究所の研究データによれば廃棄木造家屋から排出される瓦礫に占める木材は重量比で約25%であり、沿岸市町村家屋の木造率を80%程度とすれば計算結果はほぼ一致する)。木材の瓦礫は家屋由来以外にも各種製品・合板用原木があり、その総量の詳細は不明であるが、重量比では全体量のおおよそ10%程度(20%程度という推計結果もある)、240万トンとみておけば大過ないであろう。

これを体積に換算すると木材は密度を400kg/m³とすれば約600万m³(ちなみに、2009年度の国内の木材需要量のうち製材・合板用は製品量換算で1,300万m³程度である)、その他の不燃物の平均密度を3,000kg/m³(コンクリートは2,300kg/m³)とすれば約680万m³、すなわち体積比では木材は全体の45%程度を占めることになる。これらの木質瓦礫は、一次集積地で燃焼(自然発火)、腐敗による悪臭発生などの二次的な環境劣化の原因となっている。

表3 沿岸市町村の瓦礫の状況(環境省 H23.10.12 データによる)

	瓦礫推計量 (千トン)	うち家屋被害による瓦礫推計 量(解体済みを含む、千トン)	仮置き場搬入済 量(千トン)
宮城	15,691	8,369	8,762
岩手	4,755	898	3,546
福島	2,280	225	1,067
計	22,726	9,492	13,375

第2章 東日本大震災による農林水産業被害

1. 被害の実態の認識

農林水産業は推定総額 22,839 億円の被害を受けた。農業では農地・農業施設の被害が主で 7,903 億円、林業では林地、森林、林道、林産加工施設の被害などで 1,967 億円、水産業では漁船の喪失、漁港施設の被害が主で 12,454 億円と推定された(表 4)。

表 4 農林水産業被害

(8月24日農林水産省)

区分	主な被害	被害数	被害額 (億円)
水産関係	漁船	25,008 隻	1,684
	漁港施設	319 漁港	8,230
	養殖施設		737
	養殖物		575
	共同利用施設	1,625 施設	1,228
小計			12,454
農地・農業用施設	農地の損壊	17,456 箇所	3,992
	農業用施設等の損壊	21,867 箇所	3,911
	(農業用施設等:主に、ため池、水路、揚水機、農地海岸保全施設)	(21,458 箇所)	3,278
	(農村生活関連施設:主に、集落排水施設)	(409 箇所)	633
小計		39,323 箇所	7,903
農作物等	農作物、家畜等		118
	農業・畜産関係施設等*		397
小計			515
林野関係	林地荒廃	429 箇所	238
	治山施設(海岸林を含む)	253 箇所	1,146

	林道施設等	2,600 箇所	41
	森林被害	(1,065ha)	10
	木材加工・流通施設	112 箇所	508
	特用林産施設等	470 箇所	25
小計		(1,065ha) 3,864 箇所	1,967
合計			22,839

注1 被害額について、単位未満四捨五入のため、計が一致しない場合がある。

注2 表中の農業・畜産関係施設等の内、農業関係施設は、主に、カントリーエレベーター、農業倉庫、パイプハウス等。畜産関係施設は、主に、畜舎、堆肥舎等。

表 5 大規模な流失・冠水被害を受けた市町村

(3月29日農林水産省速報)

県	市町村	農地の流失・ 冠水等被害 推定面積(ha)	被害水田 推定面積(ha)
宮城県	気仙沼市	1,032	583
	石巻市	2,107	2,010
	東松島市	1,495	1,314
	仙台市	2,681	2,539
	名取市	1,561	1,367
	岩沼市	1,206	1,049
	亶理町	2,711	2,281
	山元町	1,596	1,123
福島県	相馬市	1,311	1,251
	南相馬市	2,722	2,642

(1) 農地の損壊

津波による流失・冠水などの被害を受けた農地は6県計 23,600ha と推定された(8月24日、農林水産省)。1,000ha を越える大規模な流失・冠水被害を受けた市町村は表 5 に示すように宮城・福島両県に集中し、大部分が水田である。

これらの農地は損壊の程度により、ステージ1＝海水のみ流入し、作土が塩類化、ステージ2＝主として塩類濃度が極度に高いヘドロや土砂が作土を被覆、ステージ3＝ヘドロや土砂で覆われた農地に瓦礫が混入、ステージ4＝地盤沈下を伴い表土が海砂化した、の4つ

に区分される(高橋順二:農村工学研究所、7月9日農学アカデミー・実践農学会シンポジウム)。

(2) 農業用施設の損壊

仙台・名取地区で5つの排水機場が失われたのをはじめ、各地のダム、ため池、用排水路などの施設が損壊を受けた。三陸・福島地方のみならず、東北内陸部、長野・新潟などで生じた被害も少なくない。これらの用排水施設の喪失は冠水の排水を不可能にし、復旧を遅らせ、ダムやため池等の損壊はかんがいや除塩のための水源喪失となった(表6)。

そのため、農林水産省は全国の各地方農政局から災害応急用ポンプを被災地に貸し出し(8月16日現在61台)、湛水農地等の排水及び農業用水補給の支援を行っている。

表6 各県における農業用施設等の被害

(8月24日、農林水産省)

県名	農業用施設等		農村生活関連施設	
	箇所	被害額 (億円)	箇所	被害額 (億円)
岩手県	3,644	309	41	10
宮城県	2,994	1,109	102	267
山形県	134	3	2	0.2
福島県	3,731	1,246	111	226
茨城県	7,597	342	100	93
栃木県	510	90	23	6
千葉県	2,225	142	6	17
長野県	239	14	4	4
新潟県	252	12	7	9

(3) 家畜・家禽および畜舎等の被害

畜産分野においても、地震による畜舎等施設の損壊、飼養家畜の死亡・傷害のほか、津波で、大規模な畜舎・家畜等の損壊・流出があり、沿岸部の一部では畜産地帯の壊滅を招いた。

また、地震・津波による直接的被害と併せて、ガス・水道・電気等のライフラインの寸断及び交通機関のマヒ等による飼料供給の停止に伴い、家畜が餓死・衰弱死するとともに、出荷できない生乳の廃棄など、畜産農家に多大の損害をもたらした。

地震による被害は青森、岩手、宮城3県で、畜舎の一部損壊23、ケージ倒壊4、飼料タンクの一部損壊2、卵の廃棄40トンで、鶏の圧死・餓死凍結羽数が437万4820羽であり、津波による水死は17万4800羽で、死亡合計は454万9620羽にのぼった。

県別の死亡鶏の内訳は、青森県が採卵鶏 10 万 5000 羽、ブロイラー 2500 羽、宮城県が採卵鶏 78 万 5520 羽、ブロイラー 69 万 1600 羽、岩手県は採卵鶏とブロイラーの区別をつけず 296 万 5000 羽となった(農林水産省調べ、6 月 1 日まで)。

(4) 海岸林の被害

青森県から千葉県にかけての海岸防災林は、津波によって約 3,600ha が浸水し、その一部が大きく損壊して、特に岩手県、宮城県、福島県では壊滅的な状況となった。津波による直接の被害は、幹折れと根返りに分けられ、一部には流木化したものもあった。

2. 被害に対する理解と復興へのテクニカル リコメンデーション

(1) 被災農地の復旧

ア. 流失農地等ステージ 3,4 の重度の被災農地

喪失農地の多くは地盤沈下を伴い表土が海砂化しており、満潮時の再冠水をくりかえしたところもある。また、ヘドロや土砂で覆われた農地に瓦礫が混入し、農地の機能が(著しく)損なわれている土地も多い。これらの農地には、潮止めの堤防の設置、瓦礫の排除、農地整備、農業施設の再建が必要であるが、市街、道路などの施設も同様に破壊されている。復興には農業工学、都市工学、土木、衛生、農林水産技術等が総動員されることになる。

町作りにも防災の視点での職住分離や高台移設などの新たな概念が提案されているが、農業についていえば、本来のコメどころに大規模先導的な農業経営が実現するような担い手と生産基盤の整備を図るべきである。

大規模で先導的な農業経営が実現するほ場整備には、地下

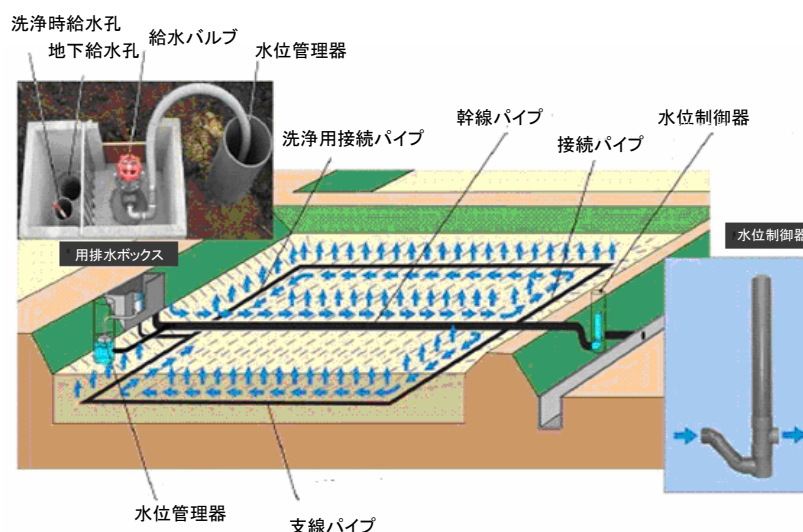


図 1 ほ場内地下水位制御システム(FOEAS) (農村工学研究所)

水位制御システム(FOEAS)が有効となる場合が多い。それは、地下 50 cm に敷設した幹線・支線パイプと、補助孔(弾丸暗渠)に、用排水樹と地下水位を調節する水位制御器を組み合わせることで、ほ場の地下水位を自在に調節することを可能とし、作物に合わせた水位管理と、水管理の適正化・省力化が可能となる。塩分が残る農地では除塩の促進も期待される(図1)。

イ. ステージ 1,2 の軽度な被災農地

淡水を灌漑する急速な除塩の方法には、NaCl(以下「塩分」)を下方に、または側方に抜くか、大きく二通りある。水田の排水性が高いほど、下方への水の移動速度が速くなり、除塩の時間が短縮されるので、組み合わせ暗渠などの排水改良が有効である。

海水のみ流入し、作土が塩類化した、あるいは塩類濃度が極度に高いヘドロが作土を覆った農地では、ヘドロの特徴を把握する必要がある。相馬市柏崎の水田では塩分 3-6%に相当する電気伝導率(EC)=10~20 mS/cm、作土より高いCEC=25~30 meq/100 gをもち、交換性マグネシウム・カリウム(水溶性も含む 1M 酢酸アンモニウム抽出分)に富むヘドロが表面を被覆した(表 7)。このヘドロは可給態ホウ素を多量(10~20 mg/kg)含むという際だった特徴をもっている。

このようにヘドロの成分と層厚を知り、作土の成分から、両者を混合した新作土の性質を計算することができる。混層し得る作土の厚さに応じて算出される新作土の成分濃度(作土が厚ければ厚いほどヘドロ成分は希釈され低下)について、作物栽培への適合性を調べ、上記の例でいえば可給態ホウ素は灌水で洗い流す、水で洗えない交換性ナトリウムは石灰で交換除去するという農法を工夫しつつヘドロを作土とともに混層し、均一栽培を経て作付けを再開できる。

また、水稻の場合、用水が確保できれば、土壌診断後、過剰なナトリウムを指標に混層耕・代掻き排水による除塩で濃度を下げ、イネを作付けし、簡易な手当をした後、栽培を重ねながら土壌を調整することもできる。大規模な修復を待つことなく農業者が能動的に土壌改良を行うことは復旧を大幅に促進することになる。

表 7 ヘドロと作土の土壌診断

(後藤逸男・稲垣開生:東京農業大学、7月9日農学アカデミー・実践農学会シンポジウム)

試料	深さ cm	pH(H ₂ O)	電気 伝導率 mS/cm	交換性塩基(mg/100g)				CEC meq/100g	塩基 飽和度 %	可給態 リン酸 mg/100g	可給態 ホウ素 mg/kg
				CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O				
津波土砂	10	6.6	10.3	393	370	183	1540	27.6	311	10.6	13.4
水田作土	20	5.3	2.47	407	131	43.7	287	22.4	139	8.6	1.45
鋤床	30	5.9	0.89	477	124	35.4	86.6	23.5	114	6.9	0.82
下層土	40	6.2	0.26	479	143	35.2	27.3	24.8	104	4.1	0.59
下層土	50	6.6	0.25	467	150	32.4	27.4	23.9	107	4.8	0.54

(2) 農業用施設の復旧

ア. ダム、ため池

ダム・ため池の損壊には堤体の全壊から程度の異なる亀裂によるものまで、一様でない。再建が必要なものや、重度の損壊については公共事業により、確立した農業土木工法による修復がすでに計画されている。この際、防災分野から指摘されている東海地震や東南海・南海地震を想定すれば老朽大規模ため池の耐震性に係る点検・照査を行い、外力に対する耐震性の強化を進める必要がある。ため池の耐震性を知ることによって、特に、決壊時に下流に二次被害が発生するため池や規模が大きいため池などを優先し、耐久性の高い補強、堤体屈曲部の弱点の影響を考慮した対策を講ずることができる。これらに関連する農業土木技術についての包括的な解説は他にゆずることとし、多数見られた亀裂を発生した堤体は、地震発生直後から行われた実態調査に基づき、鉛直亀裂に対するトレンチ掘り、再盛り立て、すべりを伴う斜め亀裂に対する段切り・再盛り立て工法の実施が推奨される。

イ. 水路

液状化の可能性が高い地域では、ある程度被害を受け入れ、機能回復に重点をおいた修復を行うべきである。そのため、水路基礎に液状化しない砕石などを使用、締め固めと固化を行い、軽量・短スパン化するとともに、水路システムの多重化を図ることが推奨される。パイプラインの復旧には、地盤を掘削後、パイプを敷設、埋戻しと締め固め、砕石を加えた埋め戻し、埋め戻し部の固化が基本であり、パイプラインと周辺の地盤をジオグリッドで一体化することによってパイプと地盤の変形を抑制し、地震時のパイプラインの浮上や蛇行を防止する優れた工法（浅埋設工法）も推奨できる（図2）。



図2 ジオグリッドを用いた大口径パイプライン
浅埋設（農村工学研究所）

(3) 被災した集落の農家の意識

福島県相馬市の被災農家の意識調査では復興営農再開に対して、第一に被害の大きな農家と軽微な農家、第二にトラクター、コンバインなどの主要な農業機械や園芸施設などの個人資本の喪失が大きな農家と軽微な農家の間で大きな相違がみられた。

市内を網羅した23戸の調査農家は1戸当たりの水田の浸水面積率が平均69%と被害軽微とはいいいかねるが、激甚な集落と比較して、被害軽微な農家を含んでおり、農地の早期の回復を前提に機械・施設などの損傷が軽微な場合は早期の復旧への期待感をもっていた。

しかし、機械・施設などを喪失したような農家では購入する負担が重すぎて、公的な支援の有無、あり方が再開意欲に直結していた。

一方、家屋の流失も含め激甚な津波被害を受けた立切集落の8戸の農家を対象にした調

査では、すべてが失われ、途方に暮れた様子が反映した。そのため、冷静な判断に基づく意向表明とはいえないが、復興の際の農地・経営規模の拡大や農地の担い手への経営委託に関し、肯定的な考え方がみられるのは注目される(表 8)。

表 8 福島県相馬市の津波被災地農家の意向調査

(門間敏幸：東京農業大学、7月6日、実践総合農学会・日本農学アカデミーシンポジウム)

		相馬市広域21農家	立切集落8農家
	一戸当たり平均経営水田面積	6.2ha	2.1ha
対象農家の経営と被害	一戸当たり浸水した水田面積(割合)	4.3ha(69%)	1.8ha(81%)
	農業機械の被害割合	0.13	50%
設問事項			
農業復興に対する考え方			
	まったく未来の展望ができない	1.85	3
	農地復旧の際大区画すべき	4(19%)	7(88%)
損傷した機械・施設など個人保有資産	引き続き個人で購入する	4(19%)	0
	購入のための補助金を個人にも用意する	2(10%)	0
	補助金を使って集落等で購入する	7(33%)	4(50%)
	国が購入共同所有・共同利用として貸し出す	2(10%)	3(38%)
農地を他の担い手に任せること			
集落内の農業経営者	任せたい	6(29%)	6(75%)
	高齢になればいずれ任せたい	5(24%)	2(25%)
集落内にいなければ集落外の農業経営者	任せたい	5(24%)	5(63%)
	高齢になればいずれ任せたい	6(29%)	3(38%)
集落に担い手がいなければ企業でも	任せたい	1(5%)	5(63%)
	高齢になればいずれ任せたい	6(29%)	2(25%)

(4) 広域集落デザイン

復旧・復興には地域の自主性と公共性に基づいた集落のデザインが必要であり、その中で更なる災害の被害軽減、住民の安全と地域発展の方策を要素として盛り込む必要がある。

道路、公共施設、居住区域、農業地域、商工区域などの規模配置を考えると、農業地域についてはわが国農業の将来を先導する大規模で効率的な経営が先行的に実現できるように、地域の合意形成を図りながら、既存の農地所有と利用の拘束を排した担い手と生産基盤の整備を図るべきである。

また、巨大津波に対しては減災の考え方により、海岸堤防の越流を許容しつつ、津波の遡上を低減する面的な土地利用として、農地に誘導し、集落資産に対する被害を最小限にとどめる考え方が必要であろう。

これまでに河口低平地における防災対策を検討するため、排水路網の影響を組み込み、氾濫域を2次元でモデル化した高潮や津波による農地の氾濫解析モデルが開発されている。また、土地基盤情報に高齢者家屋の分布等集落の生活情報を整理し、冠水や土砂崩れの危険性を加えて避難経路の確保や安全な地域づくりを住民と話し合うためのGISや、地域復興のための集落や施設整備を景観として表示し、生活の安全性や快適性も含めて事前評価することができるランドスケープイメージャーも開発された。

海岸林が壊滅的な被害を受けた一方で、海岸防災林が津波の勢いを弱めて津波の到達時刻を遅らせた効果が確認され、津波の破壊力が比較的弱かったところでは、船舶等の漂流物を捕捉して住宅地への流入と家屋の破壊を防いだ。今後の海岸防災林の再生・復興にあたっては、流木化を防止するための対策、流木化した場合に林内で止める対策、あるいは第

二の林帯を設けて保全対象への到達を防止する等の対策が必要である。また、苗木の供給が不足することから、植栽本数の見直し、天然更新木の活用、マツ材線虫病対策としての広葉樹の導入など、新たな造成技術の開発が課題である。

(5)木質瓦礫の処理対策

津波被災地から木質瓦礫を採取して海水浸漬による塩分濃度の上昇を測定したところ、海水の侵入は半径方向、繊維方向とも表面から3mm程度であった。「海水浸漬材を大気中に放置しておけば、雨水によって洗浄され、付着した塩素の濃度は次第に減少する」との報告もあり、木質瓦礫を燃料としたときのダイオキシン発生の恐れは少ないと考えられる。塩分の高い材であっても、ダイオキシン特別措置法の技術基準で設計された製紙工場等のバイオマス・廃棄物ボイラーならば燃料に再利用しても全く問題がないことが実測され、すでにエネルギー源として利用されている。

しかし、分別が困難な多くの津波被害材や放射能汚染材では現状ではエネルギー源としての再利用すら難しい状況にある。

微量成分分析結果でも、海水浸漬木材には通常の木材と特に異なった成分は蓄積されておらず、分別ができるものに対しては、マテリアル利用が試みられ、宮古市のボード工場では木質廃棄物によるチップを用いたボードも製造されている。チップ中に混入したプラスチック系や金属系物質の除去に若干の問題が残されているが、岩手大学では震災廃木材の再資源化の取り組みとして図3に示す「沿岸復興支援プロジェクト（三井物産環境基金の補助）」を開始し宮古市荷竹地区仮設集会施設の建設が進められている。

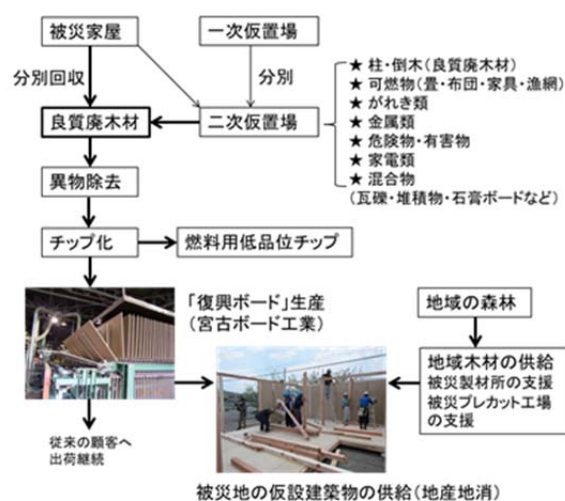


図3 岩手大学:沿岸復興支援プロジェクトのスキーム

第3章 放射能汚染による農林水産業被害

1. 実態に対する現時点での認識

(1) 福島第一原子力発電所からの放射性物質の放出

3月11日の事故が発生し、12日から16日にかけて1時間当たり最大1万テラベクレルの放射性物質が放出され、その後、放出は低減、4月上旬には1時間当たり1テラベクレル程度まで低下した(原子力安全委員会、4月12日)。4月11日から4月5日までの大気中への放出総量はヨウ素-131が 1.3×10^{17} 、セシウム-137が 1.1×10^{16} Bqと試算・推定されている(原子力安全委員会、8月22日)。

(2) 放射性物質の降下と初期環境放射能の形成

発生後、ほぼ1週間に大量に放出された放射性物質は、降雨に伴い、3月18-23日に東日本一帯にヨウ素-131、セシウム-134及び、セシウム-137の大量の降下をもたらした。震災で計測できなかった福島・宮城両県を除いて、茨城県北部(常陸那珂市)や栃木県では3月に150,000-160,000 MBq/km²の高い降下が記録された。その後、茨城県北部を例にとれば、3月23-24日、3月30日、4月8-9日、4月11日、4月18日に降雨があったが、放射性物質の降下は大幅に低下し、4月は5500 MBq/km²、5月は800 MBq/km²、5月中旬以降、放射性物質の降下はほとんど検出されなくなった。

降下物の核種は4月以降、ほとんど、セシウムになり、事故地からの新たな放出を示すヨウ素-131の降下はみられなくなった(図4-A)。

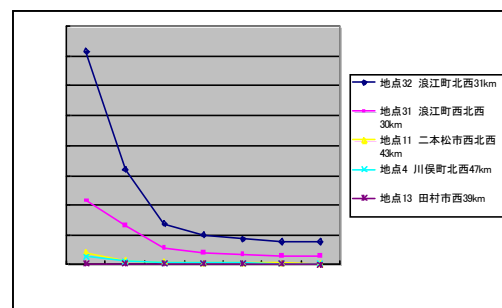
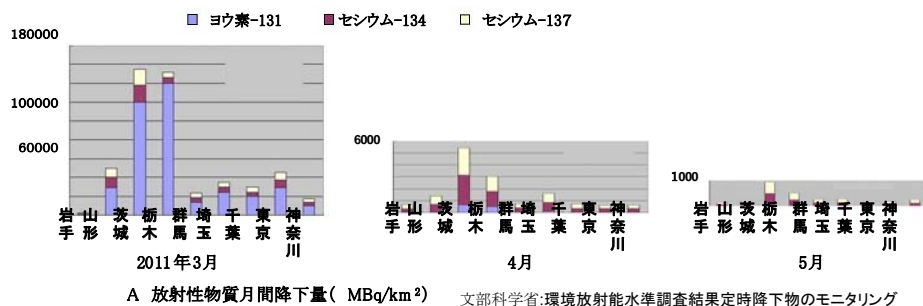
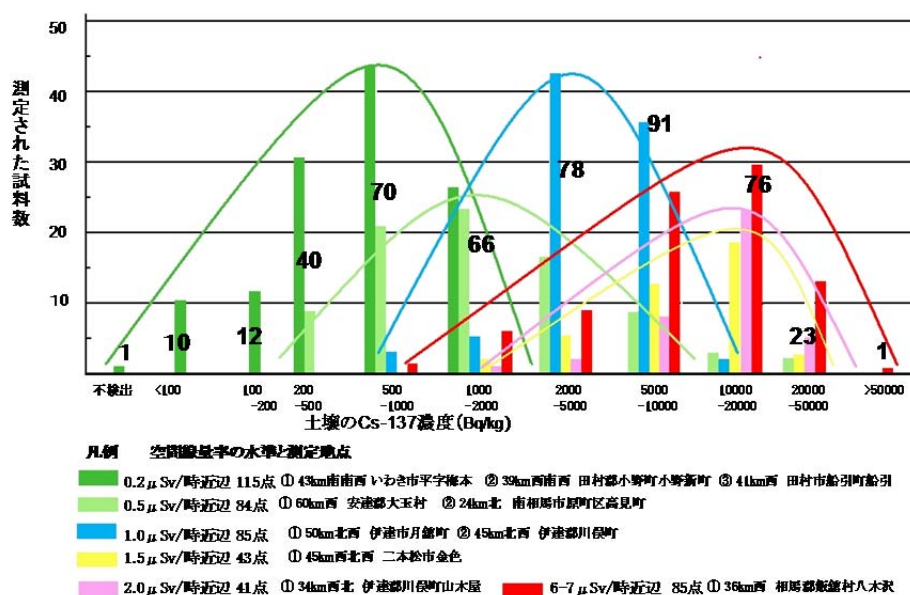


図4 事故発生後の放射性物質の降下と環境放射能の推移

放出された物質の降下及び地表への定着により、広範囲で高い環境放射能が計測された。関東や東北の遠隔地における環境放射能は早期に平準値に低下したが、事故地周辺では30 km 圏外でも高い数値が計測された。その分布は同心円状に一様ではなく、北西—西方の地点に高レベルの放射能が局在した。それらの地域では、ヨウ素-131 の減衰により、初期に放射能の急激な低下がみられたが、放射性セシウム の地表への定着によって、5月以降も平準値より高いレベルの放射能が計測された(図 4-B)。また、同一地域でも局地的に降下が集中し、ホットスポットといわれる高放射能地点が発見された。

(3) 地表に降下した放射性物質の土壌・植物への定着

6月から9月にかけて福島県が実施した環境試料の放射能調査で土壌・植物から放射能が検出された。地上 1m で計測した空間線量率が 0.2 μ Sv/時、0.5 μ Sv/時、1.0 μ Sv/時、1.5 μ Sv/時の各地点の土壌試料からの放射能の最頻値はそれぞれ、500-1,000 Bq/kg、1,000-2,000 Bq/kg、2,000-5,000 Bq/kg、10,000-20,000 Bq/kgと空間線量率に対応して増大した。1.5 μ Sv/時から6-7 μ Sv/時の高いレベルでは最頻値は 10,000-20,000 Bq/kg にとどまり、対応した増大はみられない(図 5)。



上記測定結果は政府現地対策本部が、福島県に依頼し、その結果を入手したものの。

図 5 土壌中セシウム-137 の濃度分布

これとともに対応する地点で同時期に採取した雑草の放射能は 0.5~2.0 μ Sv/時の空間線量率を示した地点ではセシウム-137 濃度 200~500 Bq/kg が最頻値であり、6~7 μ Sv/時の地点のみ、1,000~5,000 Bq/kg を最頻値とする分布が示された。土壌より、一桁少ないレベルで局所的な偏りをもって分布しており、土壌のような環境放射能との強い相関はみられない。これらはいずれ、放射性物質の溶脱、落葉、枯死により土壌放射能に加わるものである。

(4) 土壌中の放射性物質による長期環境放射能の形成

土壌に到達した放射性物質は土壌中で移動し、核種の半減期に対応して減衰しつつ長期的な環境放射能を形成する。半減期の短いヨウ素-131 は壊変により環境から失われ、中期的にはセシウム-134 とセシウム-137、長期的にはセシウム-137 が環境放射能の原因となる。

土壌中の放射性セシウム量は空間線量率と比例的な関係をもつ(図 6)。

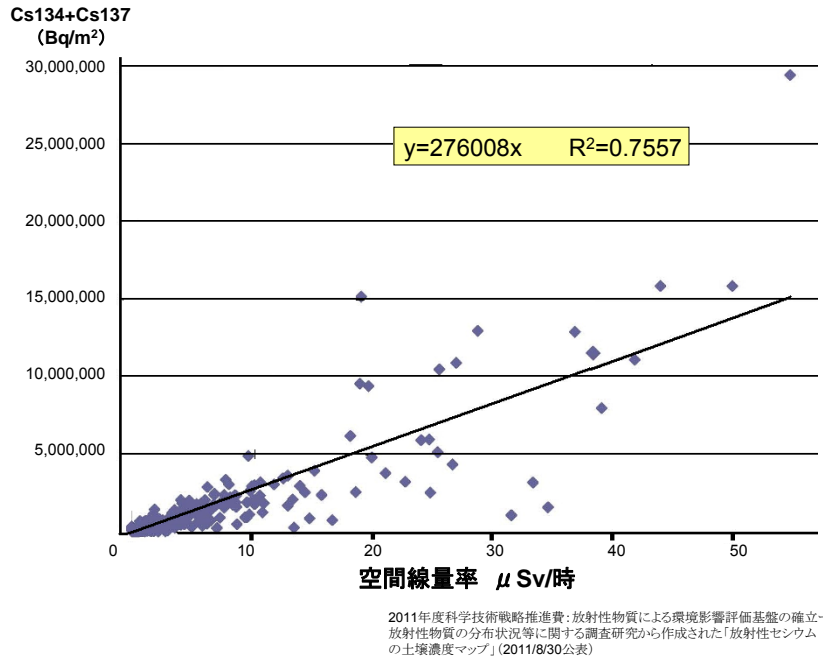


図 6 空間線量率と土壌の核種分析結果の関係について

(5) 土壌に沈着した放射性セシウムの地理的分布

8月30日に文部科学省が公表した土壌放射能マップは航空機計測による広域環境放射能分布と対応させ土壌の放射性セシウムの地理的分布を明らかにした(図 7)。これは未攪乱土壌の表層 5 cm を採取し、分析したものであり、わが国の土壌の平均的な容積重は 1.0 であるから、1 Bq/kg は 50 Bq/m² に相当する。

(6) 農地土壌の汚染状況

農林水産省は 3 月下旬以来続けた農地土壌の放射能調査の結果をとりまとめ、8 月 30 日に公表した(図 8)。環境放射能との関連での調査では表層 5 cm の土壌を採取するが、農地土壌では作物による吸収との関連を重視し、作土として、水田では表層 15 cm、畑では 30 cm を採取している。東日本各県における農地土壌中のセシウム-134 とセシウム-137 の含量は県によって著しい相違があった。

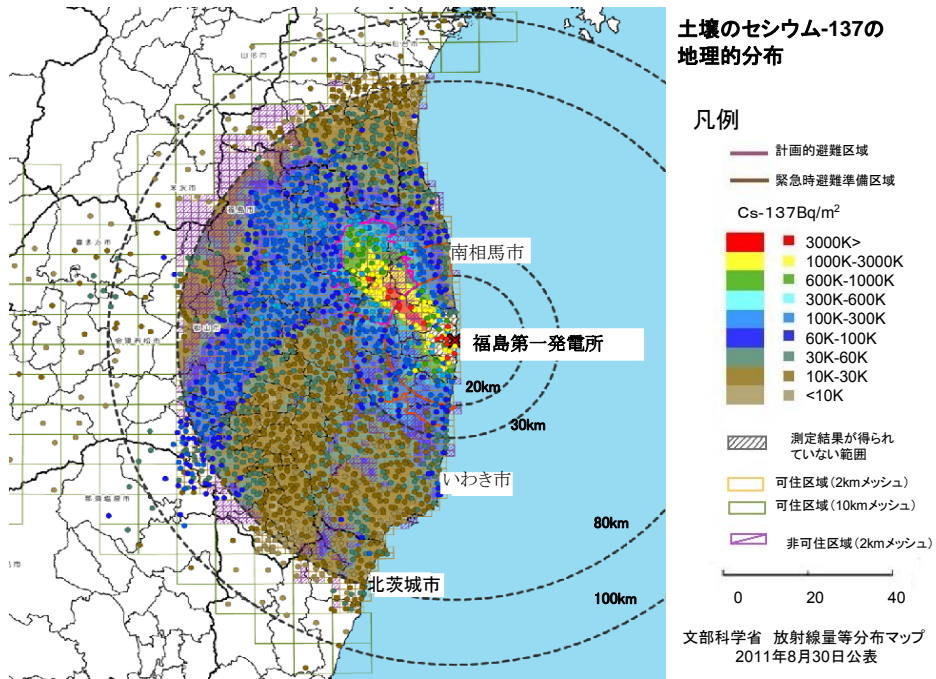


図7 セシウム-137の土壤濃度マップ

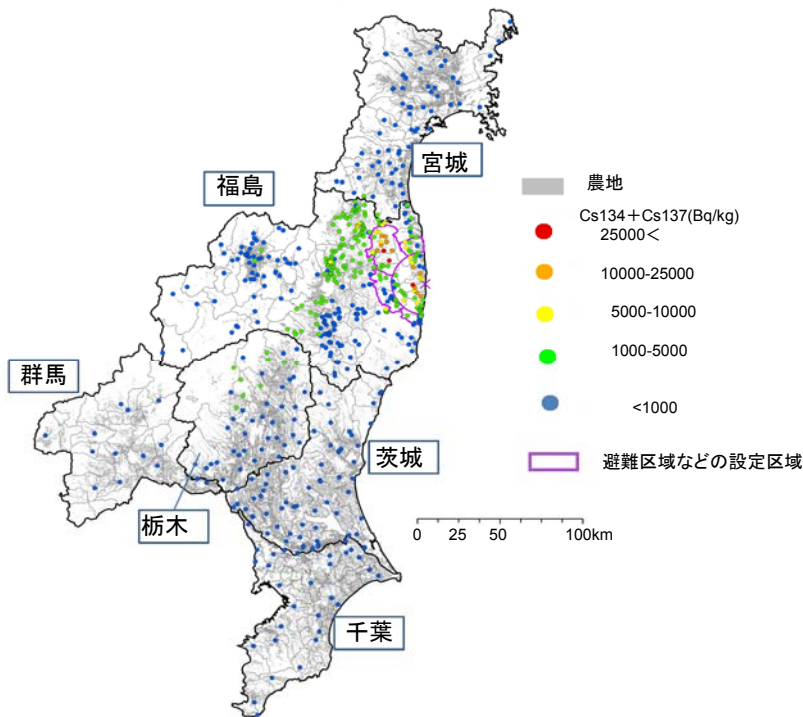


図8 東日本地域における農地土壤の放射性セシウムの分布

福島県では調査した 361 点のうち、コメの放射能汚染の観点から定められた安全基準である 5,000 Bq/kg を超えるものが 39 点あり、それらは事故発生地以北西ないし西部の地域に偏っていた(図 9)。なお、図 4 で放射性降下物の量が多かった栃木、茨城、宮城の各県での最頻値は 100-500 Bq/kg であった。

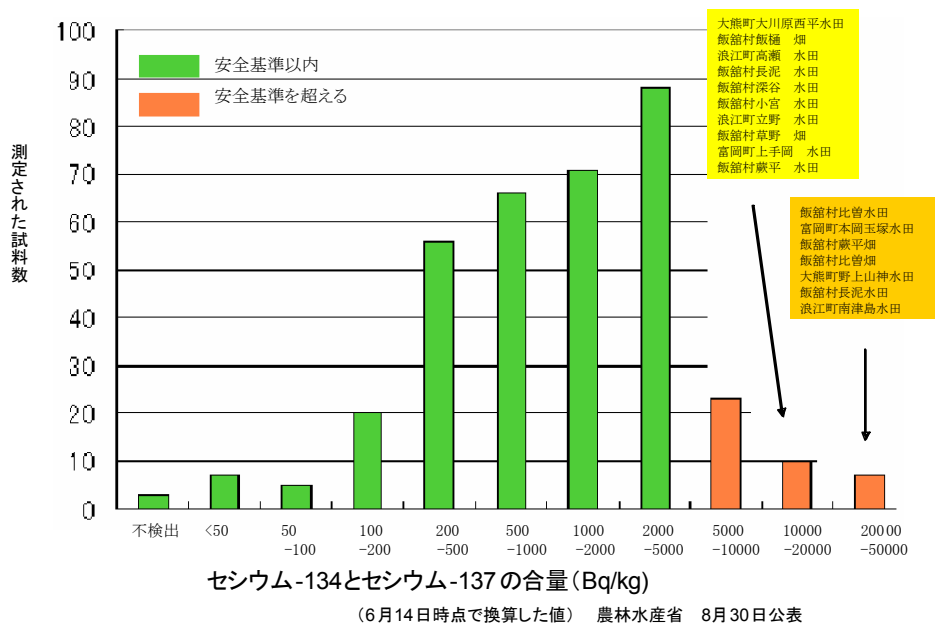


図 9 福島県農地土壌中のセシウム-134 とセシウム-137 の含量

(7) 森林の汚染

福島県の国有林 92 地点、民有林 76 地点のうち、88 地点では空間線量率が $1.0 \mu\text{Sv}/\text{時}$ 以下であったが、福島市、伊達市、月舘町、相馬市などでは $1.0 \sim 9.5 \mu\text{Sv}/\text{時}$ の高い線量率が測定された(図 10)。

福島県の面積の約7割にあたる 97 万ヘクタールが森林で覆われており、この調査結果は部分的なものに過ぎない。現在、農林水産省が進めている県内全域での調査がすすめば、より詳しい汚染の実態が明らかにされよう。

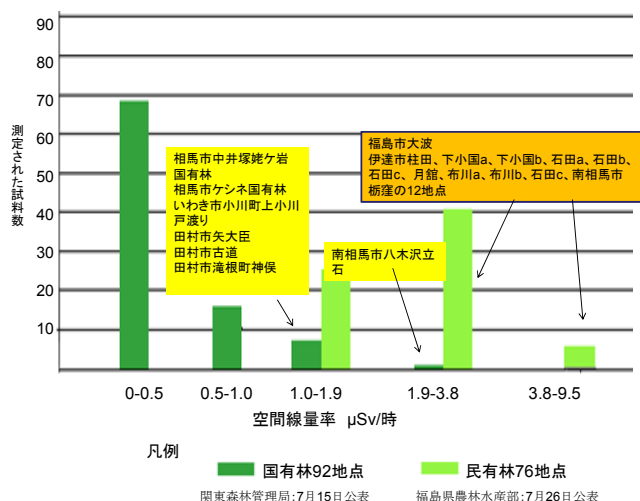


図 10 福島県森林の放射能

これまでの調査で放射性セシウムが降下した地点では樹木の葉、下草とともに、落葉枝層やそれが腐植化する土壌表層に放射性セシウムが局在することが知られているが(表 9)、森

林総合研究所が福島県大玉村で実施した調査では、

表9 ドイツ ミュンヘンの南約 50 km (グルンダルン) 標高 960 m の森林における植物-土壌の放射性セシウム(1986年8月3日、チェルノブイリ事故から約100日後、土壌型=苦灰岩岩屑土(レンジナ) (結田康一、日本土壌肥料学会)

	生育植物名・有機物層土壌層	放射性セシウム濃度(Bq/乾物kg)	
		Cs-137	Cs-134
生育している植物相	ハリモミ葉 (常緑樹)	3110	1280
	西洋ブナ葉 (落葉樹)	850	350
	下草(単子葉 葉 ^{*1})	2810	1330
	下草(双子葉 葉 ^{*1})	1040	500
地表の有機物層	深度(cm)		
	新鮮落葉枝層(L) -12~-10	9790	4480
	かなり細かく分解された層(Of) -10~-6	4790	1960
	十分に分解され腐植化した層(Oh) -6~0	1150 ^{*2}	260
土壌層	腐植と無機質が混じる層(A) 0~9	200 ^{*3}	0.002
	腐植と無機質が混じる層(Ahc)9~20	0.017	不検出
	母材の岩石が風化した層(C) 20~45	0.0063	不検出

^{*1} 放牧牛のえさとなる牧草である。農水省の牧草や飼料の放射性セシウムの基準値は 300Bq/kg
^{*2} 1150Bq/kg の約1/2の600Bq ほどがチェルノブイリ事故以前の核実験由来のものと推定される
^{*3} 200Bq すべてが核実験由来のものと推定される



図11 福島県大玉村のスギ林における放射性セシウム(Cs-134+Cs-137)の分布:スギの部位別と落葉、土壌の放射性セシウム濃度(Bq/kg) (2011年森林総合研究所)

樹木に森林全体の半分の 51%の量の放射性セシウムが分布しており、38%が樹木の葉に、枝にも11%が分布していた。また、林床の落葉層には全体の33%が、表土に17%が存在して

いた。一方、材への移行はごくわずかであった(図 11)。現段階では、林床の落葉層の除去、また常緑のスギでは葉や枝の刈り取りも除染の効果が大きいと言える。

広大な森林の全域を除染することは困難であり、急傾斜地では地表植生などの被覆除去は表土侵食の恐れがあるので注意が必要である。市街地に隣接し、生活と密着した森林や緑地などでは、市街地や農地とともに、今後、能動的な除染が求められる。

2. 汚染の科学的理解

原子力発電所事故による放射性物質の放出一降下一地表への定着は現時点で以上のよう全体像がほぼ明らかにされた。今後、この実態認識をもとに復興がすすめられる過程で役立つ、農学による理解を述べることにする。

(1) 土壌中のセシウム

ア. 存在形態

土壌に降下したセシウムはほとんどが固定されてしまう。他のイオンと交換され、移動や作物による吸収の対象となる画分はわが国土壌ではほとんどが 30%未満であり、30%を超える土壌は 396 例の 14%に過ぎない(図 12)。

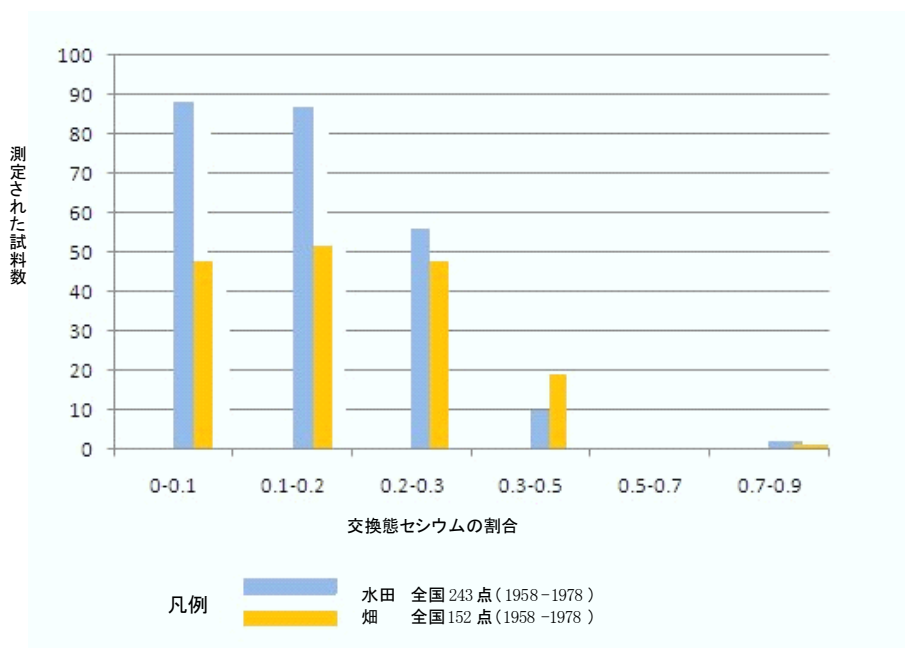


図 12 長期モニタリング調査による土壌中交換態セシウムの割合 (農業環境技術研究所)

セシウムの固定は土壌に含まれる粘土鉱物によるもので、スメクタイト(モンモリナイト)のような 2:1 型層状ケイ酸塩鉱物で比較的固定力が高く、カオリナイトのような 1:1 型層状ケイ酸塩鉱物では低い。しかし、土壌を用いた実験では、カオリナイト系の灰色低地土でもスメクタイト系のグライ土と同等以上の固定が認められた(表 10)。

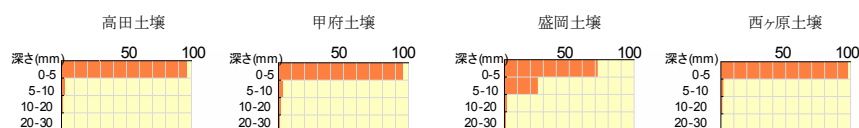
表 10 土壌、粘土鉱物による添加 Cs-137 の存在形態の比較

土壌に Cs-137 を添加、一夜放置後分析した実験(津村昭人・駒村美佐子・小林宏信(1984))

試料	土壌型	特徴	Cs-137 の画分ごとの存在率(%)		
			水溶性	交換態	固定
高田土壌	グライ土	細粒質、スメクタイト	0.2	45.9	54.1
甲府土壌	灰色低地土	粗粒質、カオリナイト	0.3	39.8	60.2
4盛岡土壌	多湿クロボク土	腐植質火山灰、アロフェン	0.7	42.8	57.2
スメクタイト		2:1 型粘土鉱物	0.5	44.2	55.8
カオリナイト		1:1 型粘土鉱物	6.1	99.1	0.9
アロフェン		非晶質粘土鉱物	4.3	79.4	20.6

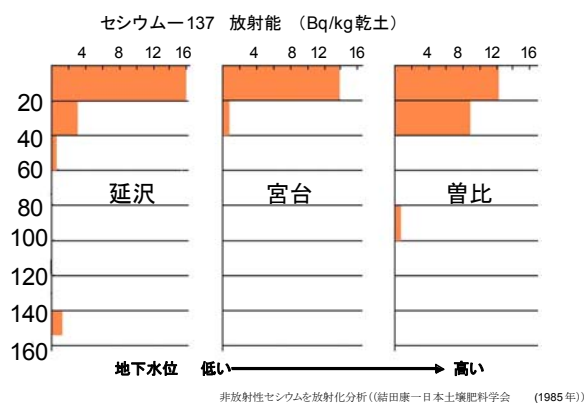
イ. 移動性

実験(図 13-A)でも現場の水田(図 13-B)でも確認されているように、セシウムは土壌表面、多くの場合、表層のごく浅い部分に留まる。



セシウム-137 の溶液を表面に添加した土壌カラムを 21℃で3日間静置後雨水 2000ml を浸透(津村ら、農業技術研究所)

A 雨水の浸透実験でのセシウム-137 の移動



非放射性セシウムを放射化分析((結田康一日本土壌肥科学会 (1985年))

B 酒匂川沿いの水田でのセシウムの土中移動

図 13 セシウムの土壌中での移動

(2) 作物による吸収

溶解したセシウムは例えば茎葉からでも植物に吸収されるが、土壌に入った後、根を経て吸収される量は激減する。これはほとんどの土壌では 70%以上が粘土鉱物により、固定されるためである。ポット試験ではイネが土壌中のセシウム-137 を吸収する割合(吸収率)は土壌の種類や栽培条件により、0.01~2.0%であった。

比較的高い吸収率となった盛岡の水田土壌を用いたポット試験では、土に加えたセシウム

-137 の 1.35%がイネに吸収され、その 20.8%が玄米に分布した(図 14)。この図は、セシウム-137 が土壌からイネに吸収され、どの部位に分布するかをよく例示している。

吸収率は放射性降下物の追加がなければ、年々減少することが確認されている。

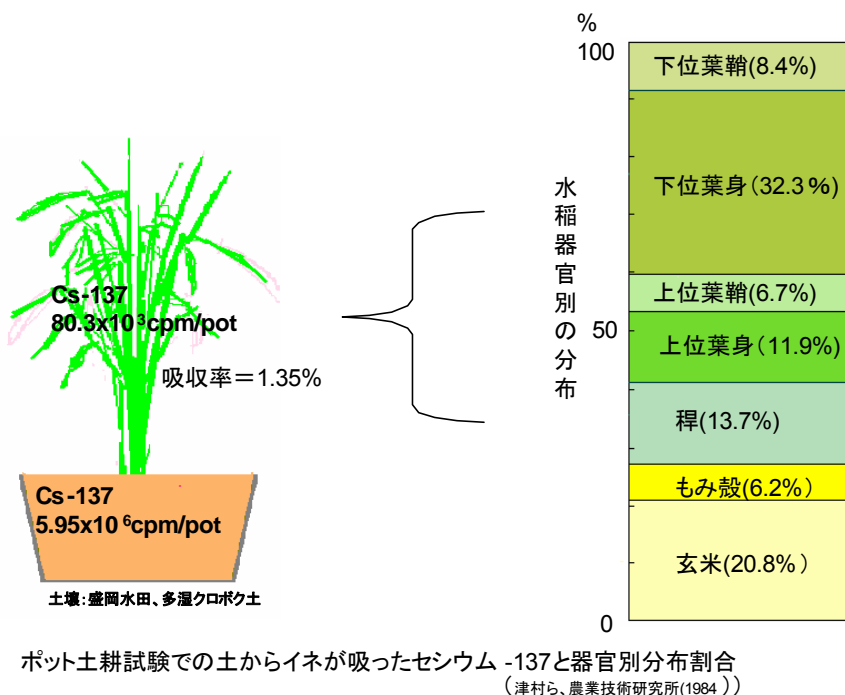


図 14 土からイネへのセシウム-137 の吸収とイネ体内の部位別分布

(3) 可食部への移行

全国 17 の観測地点で 1959 年から 1995 年の 37 年間に収穫された 512 点のコメ試料の分析では、玄米と白米におけるセシウム-137 の濃度比は 2.6 ± 0.4 でほぼ一定である。玄米を 90%の率で精米した白米であることから計算すると、玄米に移行したセシウムの $9/26$ が白米に、 $17/26$ が糠に存在することになる。

わが国の 15 点の土壌と米の超微量分析で得られた土壌から白米へのセシウム-137 の移行係数(白米のセシウム-137 濃度/土壌のセシウム-137 濃度)は $(2.6 \pm 2.8) \times 10^{-3}$ であった。

以行係数 $= 2.6 \times 10^{-3}$ であれば、20,000 Bq/kg の汚染水田で栽培した場合、白米のセシウム-137 濃度は 52 Bq/kg ということになる(土壌の容積重を 1 とすれば、土壌のセシウム-137 のうち、白米へ移行したものの割合は 8.7×10^{-6})。

しかし、土壌の放射性セシウム濃度は近接した場所から採取した場合でも大きな差があることがあり、交換態の占める割合にも例外的に高いことがあるため、土壌の放射性セシウム濃度調査値から想定される吸収量・移行量を大幅に上回る可能性は残る。

したがって、コメの放射能検査で高い濃度が計測された場合は当該圃場での高密度な土壌中の核種の調査を行い、局地的な高濃度汚染の有無を確認するとともに、適切な除染あるいは吸収低減の措置をとる必要がある。

(4) 土の放射線遮蔽効果

土壌や水は含有する元素によってセシウム放射線を遮蔽する。遮断効果は沖積粘土質土壌ならば、厚さ(深さ)20 cm で放射線は 1/10 以下に減衰、火山灰土壌や水ならば、厚さ 30 cm で 1/10 以下にそれぞれ減衰し、厚さ(深さ)を増すごとに指数関数的に減衰する(図 15)。

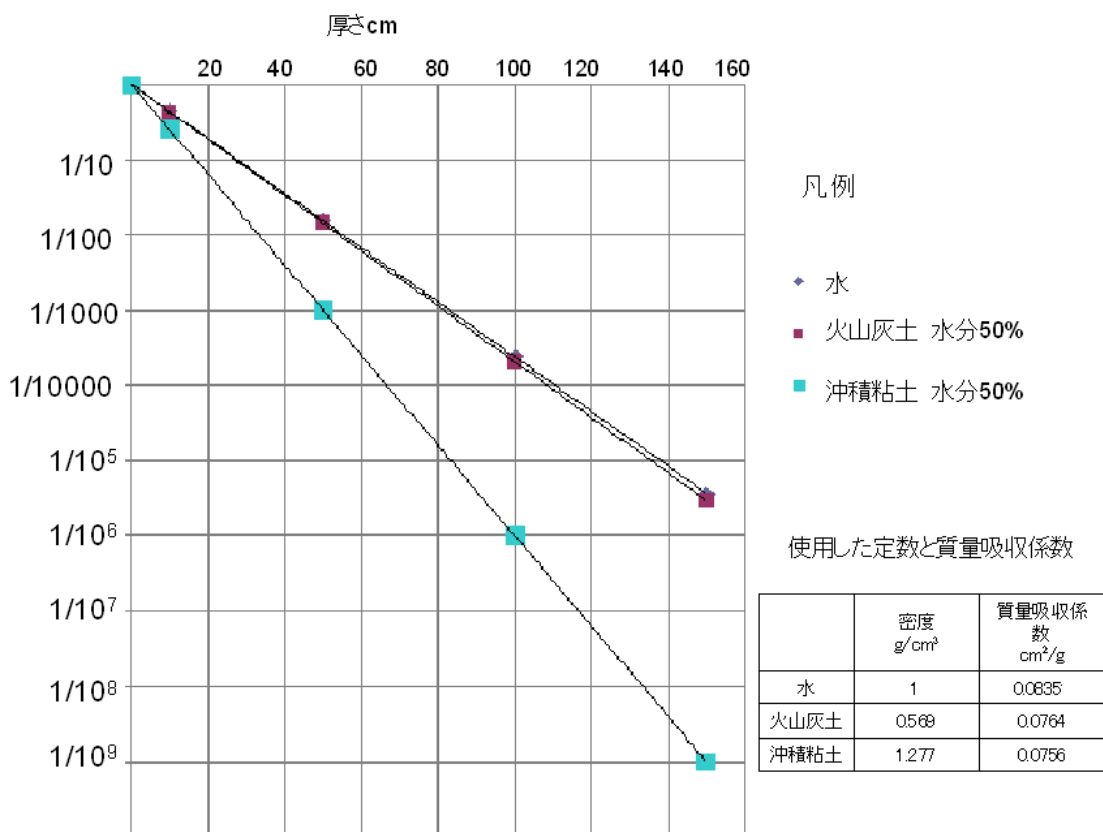


図 15 土によるセシウム放射線の減衰効果 宮崎 毅 東京大学

この非汚染土壌による汚染土壌の被覆がセシウム放射線の減衰効果をもたらすことを、放射性セシウム汚染物の埋め立て処理に活用することができる。なお、水を張った場合にも火山灰土壌と同等の遮蔽効果があり、水深 60 cm で放射線量を 1/100 以下に減衰できる。

3. テクニカル リコメンデーション

9月30日に解除された緊急時避難準備地域の早期再生や計画的避難地域の指定解除の早期化を図るためには、環境放射能の低減を促進するため、学校や諸施設を中心とした市街地のセシウムの除染をすすめなければならない。大規模な公共事業で行われるもののほか、住民により、自主的、拠点的に行われる場合も増えている。

広域に行われる除染においてもっとも問題とされるのは膨大な量が想定される除去した汚染土壌などの処理である。広い圏域の汚染物を汚染地から遠ざけ、どこかの「処理場」に集めて効率よく処理する、というごみ処理に似た方法に固執すべきではないであろう。今、放射性物質の「処理場」がない、という現実とともに、ごみとは比較にならぬ重量のセシウム汚染物を遠距離輸送することの非効率のためである。警戒区域、計画的避難区域など重度に汚染された区域内で時間をかけて除染を行う場合を除き、早期に生活や農業を再開するためには、地域で、空間線量率と作物による放射性物質の吸収を長期安定的に低減できる実用的な技術を選択し、できるだけ、「汚染物は汚染地内で処理」を原則に除染をする技術を選ぶことが、賢明なことではないだろうか。

以下、農学の理解に基づき、農地と森林のセシウムの除染、作物による吸収の低減についてテクニカル・リコメンデーションを行う。

(1) セシウム汚染農地の除染

ア. 汚染部位の除去

降下したセシウムが土壌表層に局在して動かないこと、容易に水に溶出しないことから、汚染した部位の除去がもっとも効果的な手段である。

農林水産省の実施した緊急調査研究で表土の剥ぎ取りは大きな除染効果を示した。浅耕碎土後、表層部を排土する単純な方法でも75%、表面に固化剤を散布し、固化部分を排土すれば、82%、牧草など表層植生を土壌とともに剥ぎ取る方法で97%の除去率が得られた(表11)。反面、これらは10アール当たり30-50トンの排土を生じ、その処分法を用意しないと行き詰まる恐れがある。30m×100m(30a)区画の圃場であれば、表土を剥ぎ取った後に、圃場の長辺に沿って、幅50cm、長さ100m程度の溝を複数掘り、剥ぎ取った排土を埋めた後、溝掘り残土で上部を覆土すれば、高濃度の放射性セシウムを含む排土からの放射能は遮蔽される。

埋めた汚染排土中の放射性セシウムは土壌に固定されており、地下水への流出や作物による吸収の恐れはほとんどない。

放射線量を1/100以下に減衰させたい場合には、覆土は沖積粘土質土壌ならば40cm、火山灰土壌ならば60cmの厚さが欲しい。この覆土の厚さを確保するように溝の本数、あるいは深さを決めなければならない。覆土が乾燥して水分量が減ると遮蔽効果も弱まるが、これだけの厚さがあれば効果は保たれる。

表 11 農地土壌のセシウム除染技術

(農林水産省:農地土壌除染技術開発の実証試験(2011)より作表)

手法	効果		実験条件	研究機関
	作土中の放射性セシウム濃度 (Bq/kg) または表面線量率 (μ Sv/時)	除去率 (低減率) %		
表土削り取り	処理前 10379 処理後 2599	75	水田 8a 4-5cm を碎土後排土 10a の処理に 150-175 時間 排土量 40 トン/10a	中央農業総合研究センター
表土固化後削り取り	処理前 9090 処理後 1671	82	10a 水田、MgO 固化剤を表面吹き付け、3cm 程度を削り取り 排土量 30 トン/10a	農村工学研究所 原子力機構
芝・牧草剥ぎ取り	処理前 13630 処理後 327	97	水田転換牧草地、10a の処理に 248 分、3cm 剥ぎ取りで排土量 41.6 トン/10a	福島県畜産研究所
表土水攪拌除去	処理前 15254 処理後 9689	36	水田を浅代かき後濁水を排水、沈砂・固液分離、粘土質土壌で効果大、排土量 1.2-1.5 トン/10a	農村工学研究所 農業環境技術研究所
反転耕	処理前 0.66 ^a 処理後 0.30 ^a	55	水田 28ha をプラウで 30cm 以深で反転耕、0.5 時間/10a、排土量 なし	中央農業総合研究センター
ヒマワリ植栽	処理前 7715 処理後 7711	0.70%	15ha、開花期に除去率を計測	東北農業研究センター 福島県農業総合センター 原子力機構

この方法は、いわば、圃場内における「局所反転深耕」である。表土除去や反転耕による下層土の露出は地力低下を招く恐れがあるため、施工後、土壌診断を行い、必要であれば、土づくりと施肥による対策を併せて行わなければならない。

溝掘り残土は覆土としてすべて収容することはできないが、埋設した汚染表土に対して放射性セシウム濃度は圧倒的に少ないため、圃場内で再使用できるし、搬出して利用する場合も安心である。

土質や地下水位により、施工が困難であったり、付随的な対策が必要になる場合があるが、可能な限り、単純で、実質的に効果の大きな手法を現地の実情にあわせて、早期に除染を完了することが望まれる。

このことは、校庭・公園など表面線量の低下が急がれる土地の修復にも当てはまる。

イ. 表土水攪拌除去あるいは表土の反転・希釈

多量の排土を出さない除染法として、注目されるのはセシウムを吸着した粘土分を選択的に除去する表土水攪拌除去と反転耕である。いずれも表土剥ぎ取りに比べ除染効果が低い（表 11）、高濃度汚染土壌の確実な除染には不向きであるが、営農的に作物汚染の回避を図るためには有効と思われる。

前者は沈砂地の整備と水浄化設備の必要があるため、比較的セシウム濃度の低い水田で、個別または集散的に簡易な整備が工夫されれば、営農を続けつつ、継続的に浄化を行うことができる。後者は反転耕の深度を適度に設定すれば、低コストで短時間に大面積の除染ができる。

ウ. ヒマワリなどの植栽による修復

植栽による土壌の放射性セシウム除染効果は極めて低い（表 11）。ヒマワリ、ナタネなどはチェルノブイリ事故後の周辺地で盛んに栽培され、その除染効果が期待されたが、やはり、除染効果は低いことが報告されている。これらの植栽は放棄農地の景観改善や作付け再開に備える土壌の調整を主目的にした技術と考えるべきである。

(2) 作物のセシウム吸収の低減

ア. ゼオライトなど吸着材の添加

長野県の灰色低地土、栃木県のクロボク土（火山灰土）に天然ゼオライトを 1 割程度混入した培地でセシウム（非放射性）のチンゲンサイによる吸収を無処理区の 1-2%程度に低減させたポット試験が報告されている（後藤逸男：農業および園芸,86(2011)）。

しかし、水溶液からのセシウム除去に比べて、吸着材を汚染土壌に加えて作物のセシウム吸収を抑制した研究は少なく、異なる土壌、作物での効果は検証されていない。汚染レベルが高い土壌では除染を確実に行うべきである。汚染レベルが低位な土壌で試験的に利用するか、反転耕などに併用してセシウムの固定を確実にするための利用が薦められる。

イ. カリ肥料の適正な施肥

カリウムが欠乏したイネでは土壌中のセシウム吸収量が激増する(表 12)。

カリウムを欠乏しないように施肥を行うことがセシウム吸収抑制に重要である。しかし、高度に汚染された土壌でセシウム吸収抑制を目的に多量のカリウム施肥を行うことは土壌の塩基バランスを異常にし、長期的に悪影響を与えるため避けなければならない。

表 12 イネのセシウム-137 吸収に及ぼすカリウム欠乏の影響

(津村ら、1984 農業技術研究所)

施肥	前投与量 (cpm/ポット)	地上部放射能 (cpm/ポット)	吸収率 (%)	玄米放射能 (cpm/g)
NPK 完全区	6.5x10 ⁶	3973	0.065	57
-K 区	6.5x10 ⁶	50454	0.82	488

吸着材による方法は吸着資材の性能・価格について十分検討してから実施すべきである。また、カリウム施肥の効果はセシウム吸収の低減ではなく、欠乏による吸収増大を避けることに留意すべきである。

(3) 森林の除染

森林の除染は立木の葉、下草、地表の落葉枝の除去の効果が大きい。森林総合研究所の研究によれば、住居等近隣では林縁から約 20m の幅で下草や落葉枝の除去を行うと一定の効果が得られる。落葉樹では 1 回の除染で大きな効果が見込まれるが、常緑樹では 3-4 年継続することが望ましいとされる。森林総合研究所の試験で除染した落葉枝と下草は 1 平方メートルあたり 2.6 kg もあった。このように林地で除染によって除去される物質量は巨大であり、作業に労力を要するため、事業者のみならず、住民や市民のボランティア参加による取り組みも必要となるであろう。それに対応した労力確保と機材・用具を提供する仕組み作りが必要である。除染に伴う搬出や最終処分への負荷を低減させるために焼却等の減量・減容が必要であり、排煙中のセシウムを捕捉できるバグフィルター付きの焼却炉の設置などのインフラ整備が急がれる。

焼却灰の処理について環境省の定めた基準では、放射性セシウム濃度が 8,000Bq/kg 以下の焼却灰はそのまま埋め立てが可能とされているが、埋め立てには土層崩壊の危険性の少ない平坦地などを選ぶ必要がある。また、焼却灰はアルカリ性炭酸塩であり、カリウム等の塩類が多いので注意が必要である。十分量の土あるいはゼオライトなどの吸着材で固定力を強化した土と混和するなど、地中の可動水への流亡を回避する措置が必要である。地上に対する放射線の影響を防ぐために、埋め立ての深さについては、地表までに十分に放射線が遮蔽する土が存在することが望ましく、計算上の目安では火山灰土壌、1.5 m 程度、沖積粘土質土壌、70 cm 程度の厚さがあれば放射能を 1/10000 に下げることができる(図 15)。

(4)その他

除染は大規模な公共事業として行われることもあろうし、個別の農家、あるいは集団で様々な規模で行われることもある。また、作物吸収の抑制のため、深耕による希釈、吸着材の利用、施肥の工夫などが営農的に行われなければならない。吸着材などではさまざまな商品が開発・提案されており、一部には効果・価格の両面で実用にそぐわないものもみられる。

それらの効果的な利用を図るために、除染などの技術・資材について科学的あるいは技術的な面から審査・評価することが必要である。特に大規模な事業として取り組む場合には審査・評価体制を整備し、適正な利用を進める必要がある。

おわりにかえて—農学の役割と責任—

東北地方太平洋沖地震と津波による被災は余りにも規模が大きく、実態の正しい認識には時間がかかった。原発事故の経過、特に放射性物質の放出の実態の認識にはさらに時間を要した。東京電力が1号機のメルトダウンを最初に公表したのは5月12日であり、地震発生後にメルトダウンに至った詳細が報告されたのは6月6日になった。約3カ月、地震・津波による被災の実態調査、放射能による土壌や農作物産物の汚染への緊急対応などに追われながら、我々は、3月11日に何が起こったのか、正確に知ることはできなかった。

8月には地震と津波の被害がまとめられ、放射能についても大気中に放出されたヨウ素-131とセシウム-137の大気中への総量が試算・推定された。さらに8月末には土壌の放射性セシウム濃度の分布が明らかにされ、我々が被災地の生活と農業の復興のために対峙すべき、被災と汚染の全貌がほぼ明らかにされた。復興への的確な手順や技術の選択を行うことがきわめて重要な時期に入ったと認識している。

この「被害の認識と理解、復興へのテクニカル リコメンデーション」は、農学の役割が、社会に対する問題提起、注意喚起あるいは政策提言を行うのみにとどまらず、社会による問題の本質の理解、技術的なポイントの正確な把握のための専門知識の体系的な提供にある、との共通認識にたつて、日本農学会が関連学会の協力を得てとりまとめたものである。

放射能汚染を受けた地域の農業関係者に共通するのは、風評被害に対する恐怖である。それが、極端に言えば、「村に一切の放射能がない状態への復元」という実現不可能な除染を望む声を生み、結果的に除染が一向にすすまない状況を生んでいる場合さえある。

消費者が、事故発生時点の「何が起こったか分からない」という状況で、事故地周辺の農産物を避けたのは正当なリスク回避の一つであったともいえよう。しかし、現在、放射性物質による汚染がほぼ正確に理解され、出荷、流通段階での検査等で安全性が確認された状況で、同じことをするのは公正な市場を損ねることになりかねない。

残念ながら、ときに、他地域の地方自治体と住民までが「風評加害者」となり、放射能汚染は、差別のような日本人の心の汚染にまで広がっているという指摘さえある。

風評が生ずる一因に、放射能汚染に関して沢山の情報が提供されているにもかかわらず、国民に消化されないままであり、科学的な真実というものが国民に伝わっていないことがあるのではないだろうか。そうであれば、「暮らしの科学」である農学の責任は重い。消費者が安心して農作物が購入できるよう、その安全性をわかりやすく説明することも農学の責務である。

震災・津波被害、そして放射能汚染から被災地が復興し、優れた農業への展望が開けるまで農学者にはその責務を果たし続けることが期待される。

東日本大震災からの農林水産業の復興に向けて
—被害の認識と理解、復興へのテクニカル リコメンデーション—
2011年11月17日公表
執筆・編集 日本農学会

本書の著作権及び複写・転載について
著作権者 日本農学会
日本農学会加盟学協会及びその会員以外の方の
無断複写・転載をお断りします。

複写・転載ならびに内容などに関するお問い合わせは下記にお願いします。

〒113-8657 東京大学農学部内
日本農学会事務担当 黒住圭子
TEL: 03-5842-2287 / FAX: 03-5842-2237
E-Mail: office@ajass.jp
URL: <http://www.ajass.jp/>
