

農業における放射能汚染対策の費用便益分析 —柿の除染と水田の吸収抑制策—

Cost-benefit analysis of the countermeasures for agricultural products against contamination with radioactive substances in the cases of Japanese persimmon and rice

岡 敏弘*
OKA Toshihiro

Abstract: The values for cost per life-year saved (CPLYS) are estimated for the countermeasures carried out in Fukushima to prevent agricultural products from concentrating radioactive caesium in the cases of rice and anpo-gaki (dried persimmon). Persimmon trees were decontaminated in winter from 2011 to 2012. This countermeasure costed 630 million yen and reduced the reduction coefficient by 0.344, resulting in the reduction in the caesium concentration by 30% in the first year and 50% in the second year, and so on. Cumulative reduction in loss of life-expectancy due to the intake of anpo-gaki amounts to 19 person-years, and CPLYS is estimated as 37 million yen. Fertilization with potassium and zeolite, and deep cultivation were carried out in contaminated rice fields. It costed 870 thousand yen/ha or 200 yen/kg-rice. This measure is assumed to have reduced caesium concentration in the rice grown in the areas that had produced rice with more than 100 Bq/kg caesium in 2011 to below 100 Bq/kg in 2012. The amount of reduction is from 57 Bq/kg to 180 Bq/kg, resulting the value for CPLYS, 0.30 to 1.1 billion yen.

Key words: Fukushima nuclear accident, cost-benefit analysis, food standard, agricultural countermeasures, radioactive contaminations

1 はじめに

これまでに、2011年の野菜と米の出荷制限の損失余命1年回避費用を推定してきた。結果は、表1のとおりである(岡2014)。また、余命1年あたり便益を約2000万円としたときの、費用が便益を超えない基準値として、野菜で1000Bq/kg、米で720Bq/kgを提案した(岡2014)。

ここでの「費用」は出荷制限を受けて廃棄された農産物の価値である。現在の基準値—一般食品で100Bq/kg—は、これらの効率的な基準値よりも厳しいが、「廃棄」以外の対策が、安い費用でこの基準値を満たすなら、現在の基準値も効率的になりうる。農産物が現在の基準値を決して超えないようにするために、(1)果樹の除染、(2)水田の吸収抑制、(3)米の全量全袋検査などが行われている。これらの対策が、

出荷制限を受けた場合の「廃棄」に比べて安く放射性セシウムの摂取を防げたのなら、新基準による規制は効率的だった可能性もある。果たしてそうだったかどうかを確かめるのが本研究の目的である。

2 果樹除染

福島県伊達地方を中心産地とする、桃、りんご、柿など主要な果実の2011年の放射性セシウムは、当時の暫定規制値500Bq/kgを超えず、出荷制限にはならなかったが、柿の加工品であるあんぼ柿は、試験加工の結果、暫定規制値を超えるものが多く見られたので、加工自粛の措置がとられた。2011年秋から2012年にかけて、2012年産果実とその加工品が新基準値を満たすことをめざして、果樹の樹皮表面を高圧洗浄する除染が行われた。柿では粗皮剥ぎも行われた。

試験加工されたあんぼ柿の放射性セシウム濃度の平均は表2のとおりである。

* 福井県立大学経済学部 (Faculty of Economics, Fukui Prefectural University)

表 1 福島県の野菜と米の出荷制限の費用と効果

	野菜			米		
	2011年 3月	4月	5月	大波 地区	500Bq超 え地域	100-500Bq 地域
費用(億円)	19	22	9.4	0.45	10	76
損失余命回避(人・年)	21	4.3	0.87	0.14	1.5	7.3
余命1年あたり費用(億円)	0.080	0.51	1.0	3.1	6.6	10

岡(2014)。

表 2 試験加工あんぼ柿の放射性セシウム濃度

	(Bq/kg)		
	Cs-134	Cs-137	合計
2011年	-	-	247.7 (SD 197.9)
2012年	50.0 (SD 34.1)	80.0 (SD 53.4)	130.0 (SD 87.1)
2013年	22.1 (SD 13.7)	48.9 (SD 28.8)	71.0 (SD 42.0)

福島県「あんぼ柿及び干し柿等の柿を原料とする乾燥果実の加工自粛要請について」2011年10月14日、2012年10月5日、2013年10月4日(2013年のものは <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/13068.pdf>—2014.9.17 閲覧)。

この実績濃度の推移(図1)は、物理的減衰と自然の生物的減衰と除染による減衰とをすべて含んだものである。指数関数的に減衰するとした場合、物理的減衰を除いた減衰係数は表3のとおりであり、2ヶ年を通してほぼ一定である。よって、もし、除染の効

表 3 あんぼ柿の放射性セシウムの物理的減衰を除いた減衰係数

	Cs-134	Cs-137	合計
2011-2012	-	-	0.489
2012-2013	0.480	0.470	0.473

果が、除染後1年目の果実にしか現れないのだとしたら、2012年から2013年にかけての減衰は自然減だけだったということになり、2011年から2012年にかけての減衰とほとんど差がないことから、除染の効果はなかったことになるだろう。

ところが、福島県農業総合センターの佐藤守の研究によれば、2011年12月の柿の樹皮の洗浄は、2012年と2013年の両方の年の果実中の放射性セシウム濃

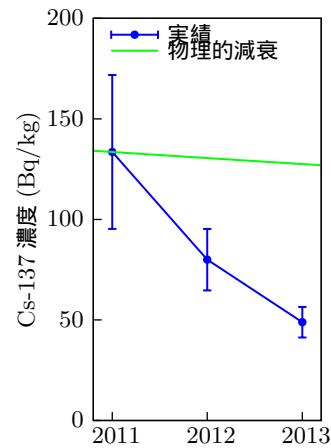
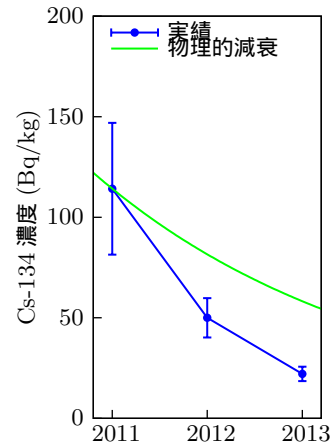


図 1 あんぼ柿試験加工の放射性セシウム濃度の推移(伊達地方分)。データは表2と同じ。ただし、2011年は合計値からCs-134とCs-137を推定したものの。誤差棒は母集団平均の90%信頼区間。

度を下げる効果を持った(佐藤2014)。佐藤ら(2014)は、果実中の放射性セシウム濃度 y [Bq/kg] が原発事故からの経過年数 x とともに指数関数的に減衰していくモデル

$$y = K \exp(-Dx)$$

で、減衰係数 D を

$$\begin{cases} \text{洗浄の場合} & D = 1.19 \quad (95\%CI: 1.10, 1.28) \\ \text{無洗浄の場合} & D = 0.846 \quad (95\%CI: 0.772, 0.920) \end{cases}$$

と推定した。除染は、果実の減衰係数を 0.344 上昇させるのである (95%CI: 0.229, 0.459)。

そこで、除染を行わなかったという仮想ケースでは物理的減衰を除いた減衰係数が 0.344 だけ低下すると仮定すると、あんぼ柿中の放射性セシウム濃度への除染の長期的な効果は図 2 で表されるものになる。図 2 の除染の有無による濃度の差に伊達地方のあんぼ柿生産量 1737t/年^{*1}を乗ずれば、あんぼ柿を人々が食べた場合の、除染による放射性セシウム摂取削減量が得られる。これに表 4 の損失余命係数をかけると、除染による年々の損失余命の回避量が得られる。累積の損失余命回避を図 3 に示す。

表 4 放射性セシウムの損失余命係数

	Cs-134	Cs-137
経口摂取の線量係数 (mSv/Bq) ¹⁾	1.9×10^{-5}	1.3×10^{-5}
線量の損失余命係数 (年/mSv) ²⁾	1.1×10^{-3}	
経口摂取の損失余命係数 (年/Bq)	2.0×10^{-8}	1.4×10^{-8}

1) ICRP(1996), 2) 岡 (2014)

伊達市の果樹除染費用 7 億 3411 万円^{*2}から、国見町と桑折町を含む伊達地方の柿に限った費用を推定すると、6 億 2209 万円となる^{*3}。これから、損失余

^{*1} JA グループ東京電力原発事故農畜産物損害賠償対策福島県協議会がまとめた賠償請求の第 8 次 (2012 年 1 月 1 日請求) と第 9 次 (同 1 月 31 日請求) の中にあんぼ柿に関わるもの 20 億 9900 万円が含まれていると福島民報が報じている (福島民報 2011 年 12 月 7 日、2012 年 1 月 19 日)。第 10 次以降も請求があるようだが、第 8 次と第 9 次が全体の損害額の 92% を占めるとする (JA 伊達みらいでの聴取りから) と、福島県の 2011 年産あんぼ柿加工自粛の損害額は 22 億 7500 万円と推定される。あんぼ柿の損害賠償額は、加工費用が不要になった分を差し引いたもので、出荷額の 76~77% とされているから、加工自粛による出荷額の減少は、29 億 7400 万円と推定される。2010 年産あんぼ柿の全農の販売実績から出荷単価が 1507 円/kg なので、加工自粛による出荷量の減少は 1973t、そのうち伊達地方は 1737t と推定される。

^{*2} 伊達市から JA 伊達みらいへの業務委託。

^{*3} 果樹除染作業に占める柿の割合—果樹 549516 本のうち柿が 257517 本であり、柿 1 本あたりの作業時間を他の樹種

命 1 年回避費用を計算すると、図 4 のようになる。2012 年と 2013 年の 2 年で効果を見た場合の 1 年余命延長費用は 1 億 8000 万円、2012 年から 2016 年の 5 年では 7200 万円、2012 年から 2021 年の 10 年では 4600 万円、2012 年から 2030 年の 19 年では 3700 万円である。

3 水田の吸収抑制策

2011 年産米で、14 地区 (旧町村) で 100Bq/kg を超える米を産出した (うち 6 地区で当時の暫定規制値 500Bq/kg を超える米を産出した) 伊達市では、珪酸カリとゼオライトをそれぞれ 200kg/10a 施用し、深耕するという対策を行った。その結果、2012 年産米では、すべての米 (161632 袋) が全袋検査 (スクリーニングと詳細検査) で 100Bq/kg 以下となった。その割合は表 5 のとおりである。

表 5 2012 年産米全袋検査の結果 (伊達市)

放射性セシウム濃度 (Bq/kg)	ND	25-50	51-75	76-100
割合	99.707%	0.255%	0.037%	0.001%

24 年産米全量全袋検査結果から。

2011 年には、14 地区の農家のうち、2012 年に作付制限となったと思われるものを除いた 2603 軒の農家の 4.495% で 100Bq/kg を超える米が産出され、18.440% で 100Bq/kg 以下の米が産出され (検出限界 50Bq/kg)、77.065% で放射性セシウムを検出されない米が産出されていた^{*4}。これらの米が表 5 の濃度に移行した。

2011 年に 100Bq/kg を超えた 4.495% のうち 0.293% が 2012 年には 25~100Bq/kg になり、残りの 4.202% は「検出せず」になり、また、2011 年に 100Bq/kg 以下だった 18.440% が「検出せず」になったとすれば (図 5)、0.293% について平均 148Bq/kg

の 3 倍と仮定すると、73% が柿となる (JA 伊達みらい) から、5 億 3274 万円とする。国見町、桑折町の柿の本数—それぞれ 29726、13461—から、伊達地方全体の柿の除染費用を 6 億 2209 円と推定する。

^{*4} 福島県「米の放射性物質緊急調査 区域毎の調査結果【訂正】」<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/43729.pdf>(2014 年 5 月 9 日閲覧) から。

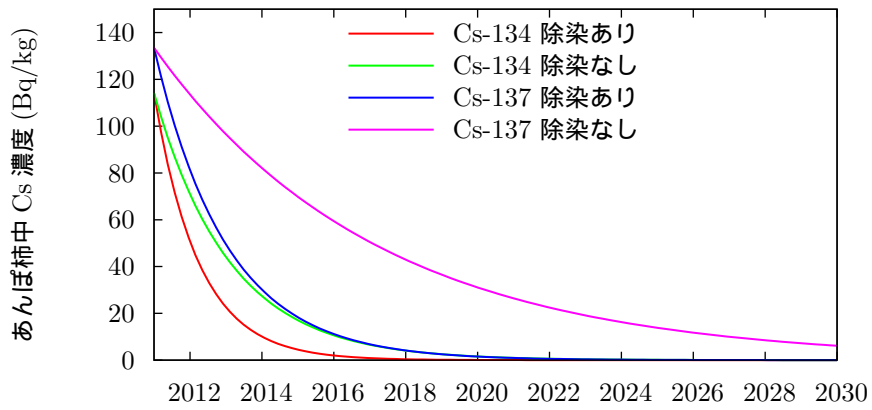


図2 除染の有無によるあんぼ柿のCs濃度の推移の差

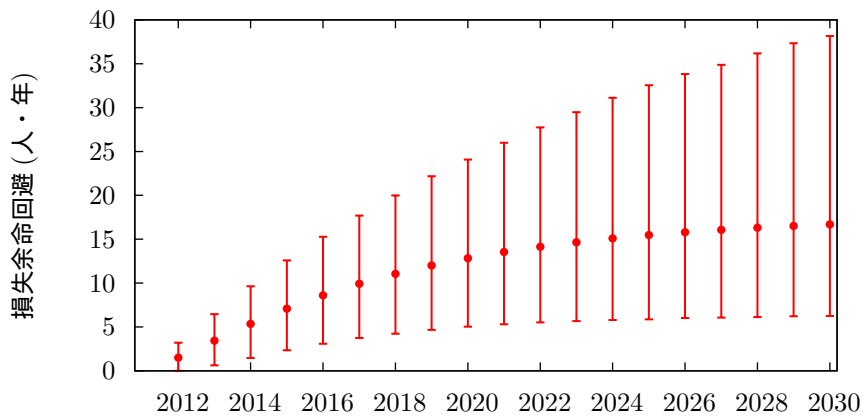


図3 柿の除染による累積損失余命回避。誤差棒は、放射性セシウム濃度の標準誤差と減衰係数の差の標準誤差を反映したシミュレーションの結果による90%信頼区間を示す。

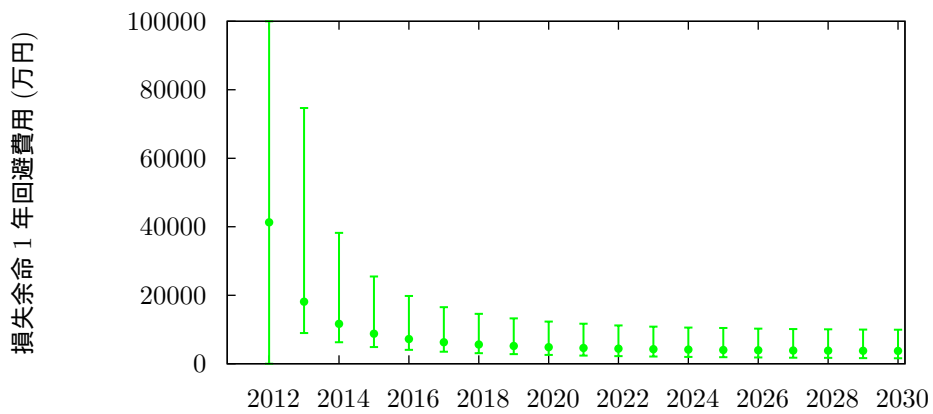


図4 柿の除染による損失余命1年回避費用。誤差棒の意味は図と同じ。

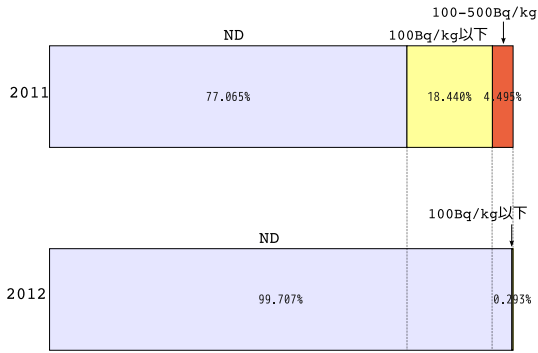


図5 米の放射性セシウム (伊達市 2011年と2012年)

の削減、4.202% について平均 173Bq/kg の削減、18.440% で平均 57Bq/kg の削減があったと推定できる (表6)。

しかし、この中には物理的減衰とそれ以外の自然の減衰が含まれている。玄米中の Cs-137 の 2011 年から 2012 年にかけての物理的減衰分を含めた自然減衰係数が 0.424 であるという報告がある (新妻・藤村 2014)。物理的減衰係数を差し引くと 0.401 になる。これが Cs-134 にも当てはまるとすると、自然の減衰を除いた、対策による削減は、上の区分ごとに、65Bq/kg、90Bq/kg、26Bq/kg と推定される。白米ではそれぞれ、29Bq/kg、40Bq/kg、11Bq/kg となる。対策の費用が 87 万円/ha であることから、収量を 4.4t/ha とすると、米 1kg あたりの費用は 197 円になる。よって、白米で 40Bq/kg 削減したケースで費用は最も安く、5.0 円/Bq となる。1Bq 摂取による損失余命 1.6×10^{-8} 年から、損失余命 1 年回避費用は最も安い場合で 3.0 億円である (表6)。

4 結論

柿の除染は、効果を比較的長く見た場合には、数千円で 1 年の損失余命を回避する対策であった。便益 2000 万円と比べて低いとは言えないが、除染を終えた柿の果実をあんぼ柿に加工して出荷していたら、これは比較的小さい費用でリスクを下げた対策だったと言えるだろう。しかし、2012 年は加工自粛が続けられた。その年に強化された新基準値を満たせなかったからである。これによって初年に引き続いて約 20 億円の価値が捨てられ、それによる損失余命回

表6 伊達市の水田の吸収抑制策の効果と費用

2011 年産の放射性 Cs 濃度区分	100Bq/kg 以下	100-500Bq/kg	
全体に対する割合	18.440%	4.202%	0.293%
平均濃度 (2011 年)(Bq/kg)	69 ¹⁾	186 ²⁾	186 ²⁾
平均濃度 (2012 年)(Bq/kg)	13 ³⁾	13 ³⁾	38 ⁴⁾
削減幅 (Bq/kg)	57	173	148
自然減 (Bq/kg) ⁵⁾	23	61	61
物理減 (Bq/kg) ⁶⁾	8.3	22	22
対策減 (玄米)(Bq/kg)	26	90	65
対策減 (白米)(Bq/kg) ⁷⁾	11	40	29
費用 (万円/ha) ⁸⁾	87		
収量 (t/ha) ⁹⁾	4.4		
単価 (円/kg)	197		
単価 (円/Bq)	17	5.0	6.9
損失余命 (年/Bq) ¹⁰⁾	1.6×10^{-8}		
損失余命 1 年回避費用 (億円/年)	11	3.0	4.2

1) 2011 年の緊急調査 (伊達市分) での度数—「検出せず」が 2116 戸、「100Bq/kg 以下」が 585 戸、「100Bq/kg 以上 500Bq/kg 未満」が 185 戸—から、50Bq/kg ~ 100Bq/kg の平均濃度を内挿したもの。

2) 2011 年の緊急調査 (伊達市分) での、100 ~ 500Bq/kg の度数分布—100-200 が 101、200-300 が 25、300-400 が 17、400-500 が 4—から、各階層の代表値をそれぞれ 138、249、322、433 として求めた平均値。

3) 0 と 25 との中央値。

4) 2012 年の全量全袋検査の分布—25-50 が 0.255%、50-75 が 0.037%、75-100 が 0.0012%—から、各階層の代表値をそれぞれ 34、61、80 として求めた平均値。代表値は、分布からの内挿と詳細検査結果とから重みをつけて決定。

5) 物理的減衰以外の自然の減衰率を 0.401 として計算。

6) Cs-134、Cs-137 の減衰率それぞれ 0.336、0.0230 から、両者の 2011 年の存在比を 0.867 として、放射性セシウム合計の減衰率を 0.128 として計算。

7) 玄米の 0.442 倍。

8) 2011 年度 220ha で対策費 1 億 8133 万円、2012 年度 780ha で 6 億 7465 万円および 300ha で 2 億 6986 万円 (伊達市)。

9) 出荷制限区域において産出された平成 24 年産米に関する福島県管理計画 www.pref.fukushima.lg.jp/download/1/suiden_kanrikeikaku_honbun1204.pdf から。

10) Cs-134 と Cs-137 の経口摂取の損失余命係数をそれぞれ 2.02×10^{-8} 年/Bq、 1.38×10^{-8} 年/Bq、2012 年の Cs-134 と Cs-137 の存在比を 0.634 として求めた。

避費用は1年あたり5億円を超えることになった。

2013年は、50Bq/kgを確実に下回りそうな地域をあんぼ柿加工再開のモデル地区に指定して、加工が再開され、全量検査態勢を整えて出荷が再開されたが、出荷量はまだ原発事故前の10分の1である。

水田の放射性セシウム吸収抑制対策は、最も効率的なごく一部の米(全体の4~5%程度)でも3~4億円かけて損失余命1年を回避する対策であり、それ以外の大半の部分については、前年の汚染米の廃棄を上回るくらい非効率的な対策であると推察される。さらに、福島県の米は、2012年から全量全袋検査を経て出荷されているが、これには県全体で年間約60億円かけ、それによって、2012年産では1000万袋中71袋の基準超えの米を見つけて流通から排除した。これによる損失余命回避はわずかに0.0020年であり、損失余命1年回避費用は2兆円を超える。

これらの対策は、基準値100Bq/kgを超える農産物が流通することを100%防いで、何とか福島産農産物の市場での信頼を回復するためにとられている。規制と風評という状況に対応した当然の対策であるが、それを引き起こした規制の正当性は、効率性を基準にして問うてよいだろう。基準値が一律100Bq/kgでなかったら、これらの対策のいくつかはとられる必要がなかったし、除染を行った柿の加工をもっと早く再開できただろう。また、基準値が基づいているリスクが元々確率的なものだということを考えると、基準値を超える食品が100%流通してはいけないという性格のものではない。効率的な規制を行うためには、政策決定者と社会通念に確率的な思考を浸透させる必要がある。

謝辞

この研究はJSPS科研費25340144の助成を受けた。また、柿の樹皮除染の費用等についてJA伊達みらいの数又清市常務理事から、水田の吸収抑制策の費用について伊達市から情報提供をいただいた。

参考文献

- [1] ICRP(1996), Publication 72, *Annals of the ICRP*, 26(1).
- [2] 新妻和敏・藤村恵人(2014)「同一水田におけ

る玄米中の放射性セシウムの経年変化」福島県農業総合センター放射線関連支援技術情報 (http://www4.pref.fukushima.jp/nougyou-centre/kenkyuseika/h25_radiologic/h25_radiologic_22.pdf).

- [3] 岡敏弘(2014)「福島第一原発事故1年目の食品放射性物質規制の費用便益分析—野菜と米の放射性セシウム汚染の場合—」『日本リスク研究学会誌』24(2)掲載予定。
- [4] 佐藤守(2014)「休眠期に汚染された落葉果樹における放射性セシウム移行メカニズムと吸収抑制対策」『日本土壌肥料学雑誌』85(2), 1-4.
- [5] 佐藤守他(2014)「カキ‘蜂屋’葉、果実および樹皮中¹³⁷Cs濃度の経年推移に及ぼす除染の影響」福島県農業総合センター放射線関連支援技術情報 (http://www4.pref.fukushima.jp/nougyou-centre/kenkyuseika/h25_radiologic/h25_radiologic_33.pdf).