

日本リスク研究学会 2014年11月30日

---

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<sup>\*1</sup>

OKA Toshihiro

<sup>\*1</sup> 福井県立大学経済学部 (Faculty of Economics, Fukui Prefectural University)

# 1 はじめに

- これまでの研究

- 2011年の野菜と米の出荷制限の損失余命1年回避費用の推定(表1)。

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)。

- 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(岡2014)
  - \* 野菜で1000Bq/kg
  - \* 米で720Bq/kg
- 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。

- 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
  - (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、もっと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。
- 果たしてそうだったか。

## 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。
- 柿の加工品であるあんぼ柿は、2011年の試験加工の結果、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ぽ柿の放射性セシウム濃度の平均は表2、図1のように推移した。

表2 試験加工あんぽ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「あんぽ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)。

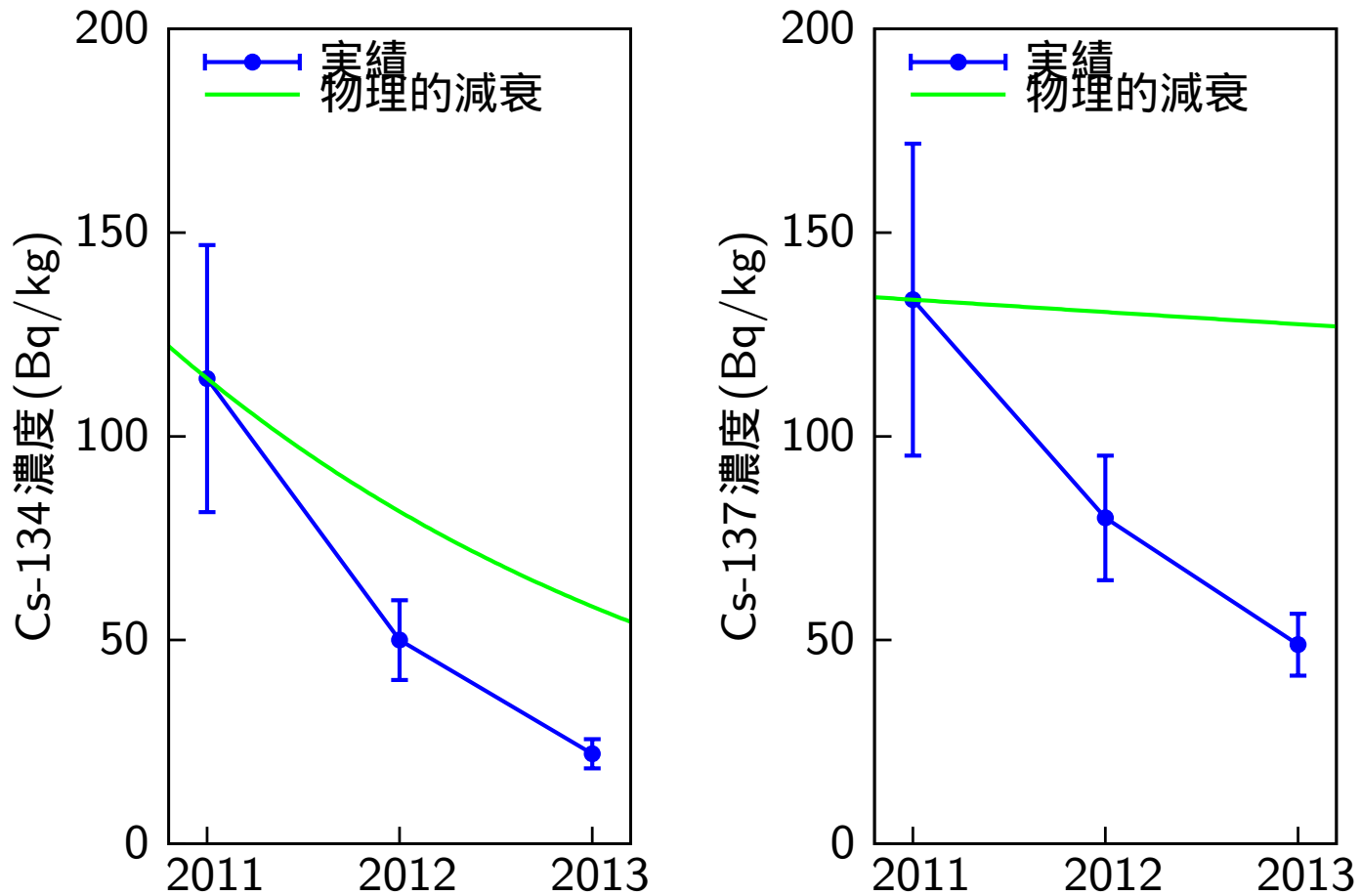


図1 あんぽ柿試験加工の放射性セシウム濃度の推移(伊達地方分)。データは表2と同じ。ただし、2011年は合計値からCs-134とCs-137を推定したもの。誤差棒は母集団平均の90%信頼区間。

- 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。

表3 あんぽ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

- よって、もし、除染の効果が、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。

- 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

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

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)。



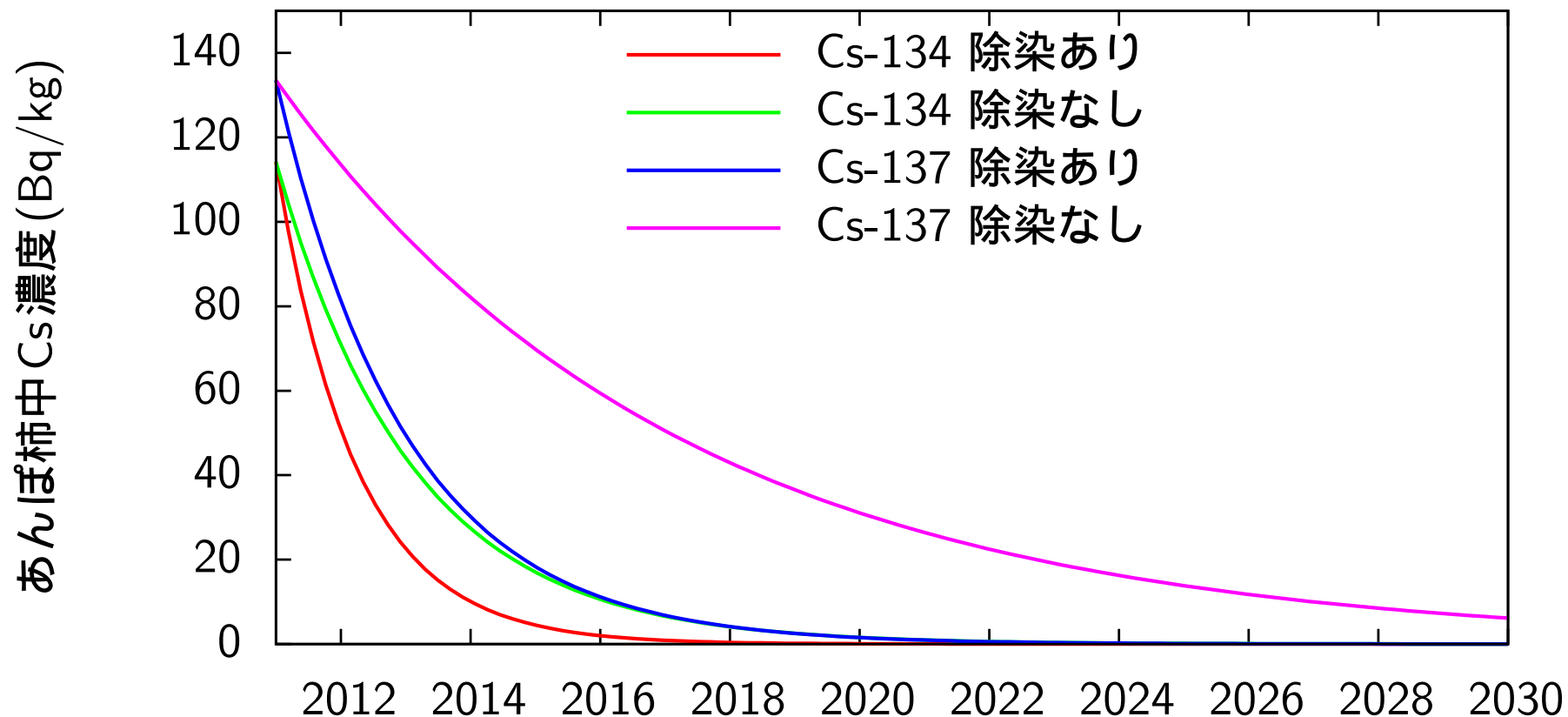


図2 除染の有無によるあんぽ柿のCs濃度の推移の差

- 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だけ低下するとすると、あんぽ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。

- 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。

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) <sup>1)</sup>	$1.9 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-5}$
線量の損失余命係数 (年/mSv) <sup>2)</sup>	$1.1 \times 10^{-3}$	
経口摂取の損失余命係数 (年/Bq)	$2.0 \times 10^{-8}$	$1.4 \times 10^{-8}$

1) ICRP(1996), 2) 岡(2014)

- 累積の損失余命回避を図3に示す。

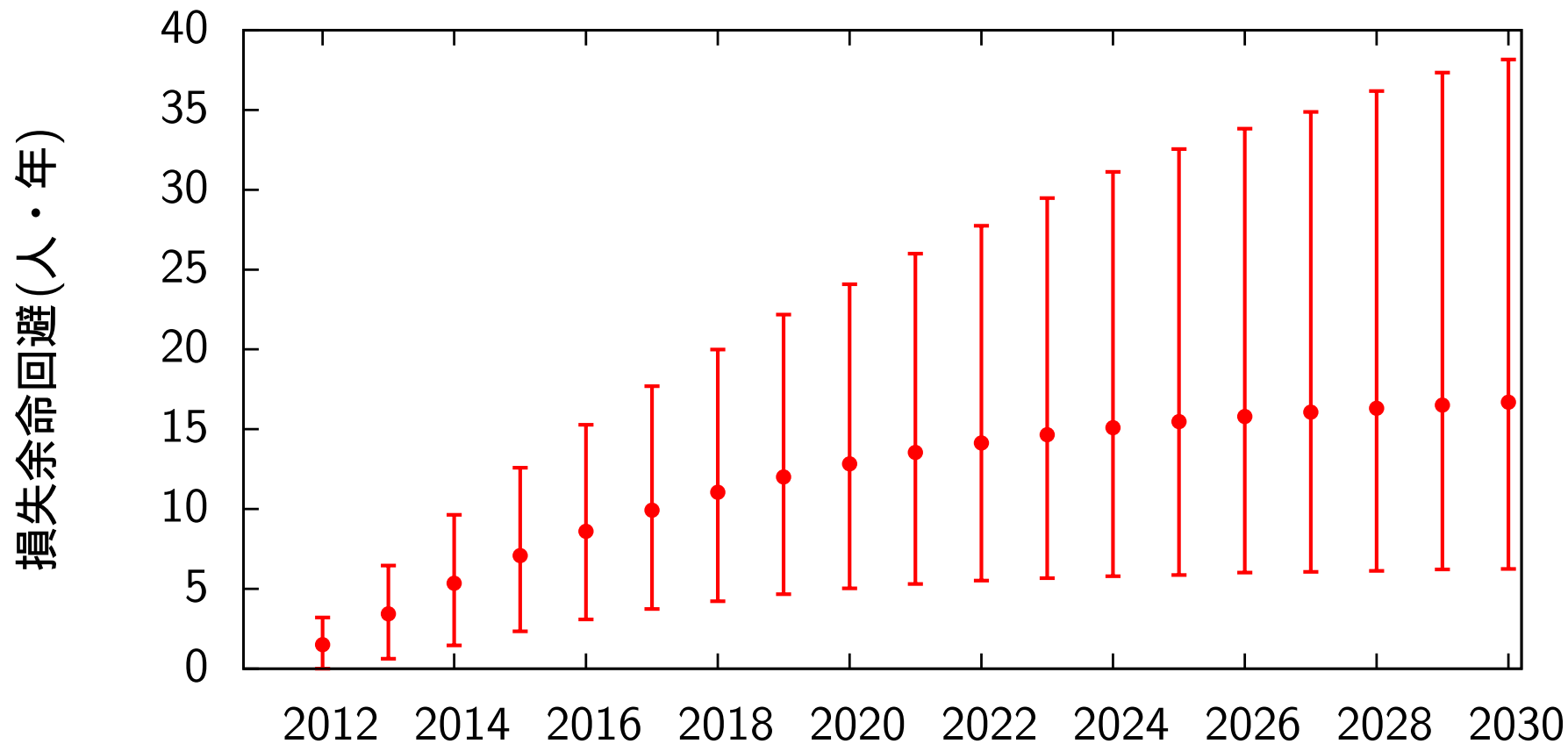


図3 柿の除染による累積損失余命回避。誤差棒は、放射性セシウム濃度の標準誤差と減衰係数の差の標準誤差を反映したシミュレーションの結果による90%信頼区間を示す。

- 伊達市の果樹除染費用7億3411万円\*<sup>1</sup>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\*<sup>2</sup>。これから、損失余命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。

---

\*<sup>1</sup> 伊達市から JA 伊達みらいへの業務委託。

\*<sup>2</sup> 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。

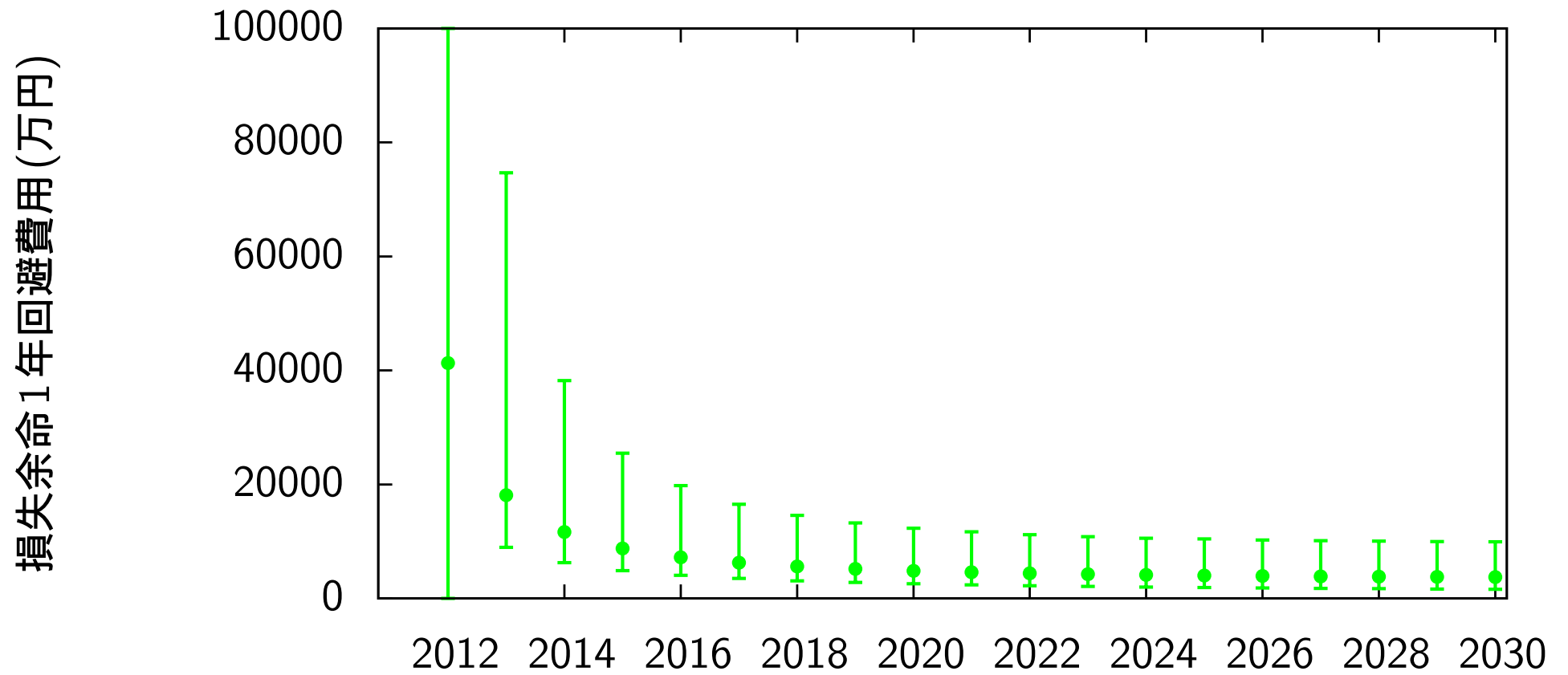


図4 柿の除染による損失余命1年回避費用。誤差棒の意味は図と同じ。

### 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\*3。これらの米が表5の濃度に移行した。

\*3 福島県「米の放射性物質緊急調査 区域毎の調査結果【訂正】」

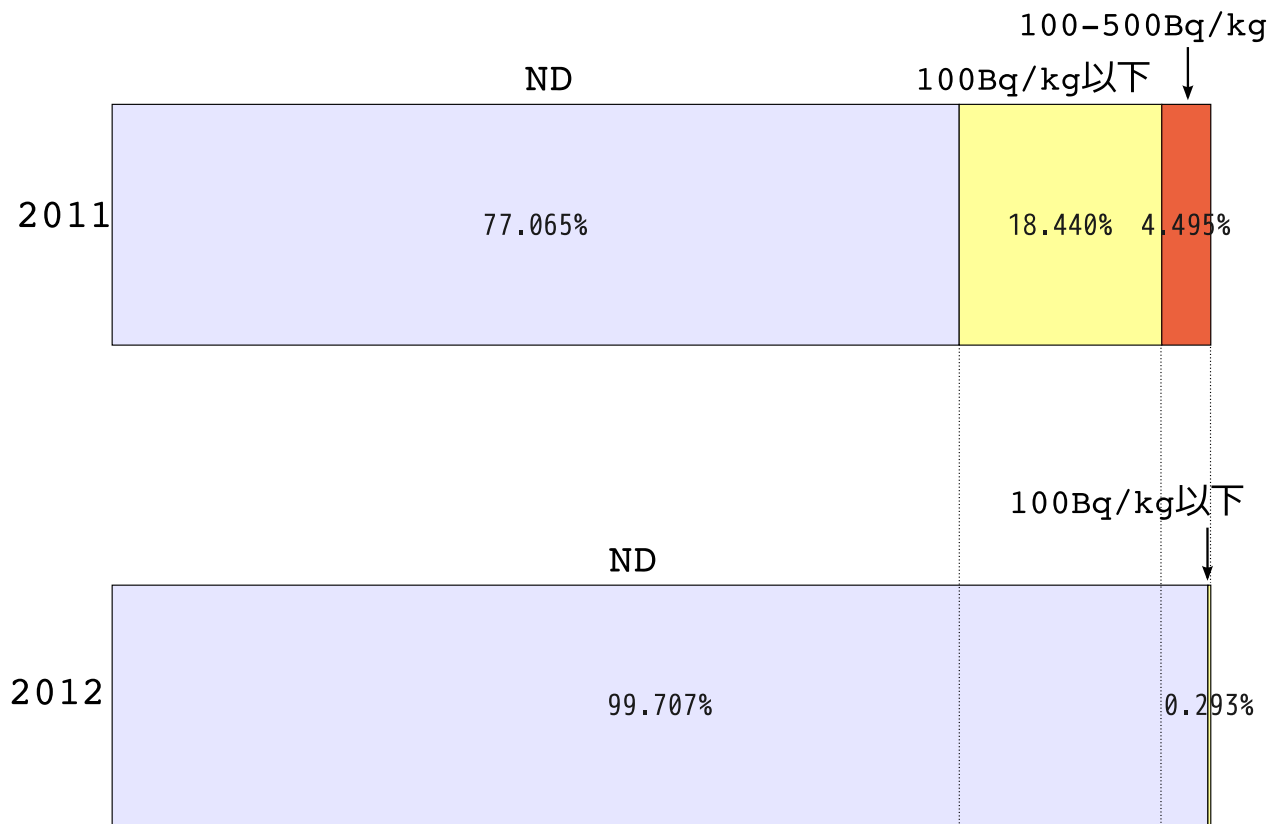


図5 米の放射性セシウム(伊達市2011年と2012年)

<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/43729.pdf>(2014年5月9日 閲覧)から。

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 <sup>1)</sup>	186 <sup>2)</sup>	186 <sup>2)</sup>
平均濃度(2012年)(Bq/kg)	13 <sup>3)</sup>	13 <sup>3)</sup>	38 <sup>4)</sup>
削減幅(Bq/kg)	57	173	148
自然減(Bq/kg) <sup>5)</sup>	23	61	61
物理減(Bq/kg) <sup>6)</sup>	8.3	22	22
対策減(玄米)(Bq/kg)	26	90	65
対策減(白米)(Bq/kg) <sup>7)</sup>	11	40	29
費用(万円/ha) <sup>8)</sup>	87		
収量(t/ha) <sup>9)</sup>	4.4		
単価(円/kg)	197		
単価(円/Bq)	17	5.0	6.9
損失余命(年/Bq) <sup>10)</sup>	$1.6 \times 10^{-8}$		
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](http://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 $2.02 \times 10^{-8}$ 年/Bq、 $1.38 \times 10^{-8}$ 年/Bq、2012年のCs-134とCs-137の存在比を0.634として求めた。

- 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の削減があったと言えるかもしれない(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 $1.6 \times 10^{-8}$ 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、数千万円で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ぽ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ぽ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、対策をとらなかつたら平均180Bq/kgの放射性セシウムを含む米が産出されたであろう水田の米を、検出限界以下の米にするというのが、もっとも効果の大きいケースであつただろう(それはせいぜい全体の4~5%程度を占めるにすぎない)。
- そのケースで、1Bq下げるのに5円かかった対策であり、損失余命1年を回避するのに3億円かけたことになる。
- 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。

## 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](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), 101-110。
- [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 $^{137}\text{Cs}$ 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](http://www4.pref.fukushima.jp/nougyou-centre/kenkyuseika/h25_radiologic/h25_radiologic_33.pdf)).