

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：23401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25340144

研究課題名(和文) 食品放射能規制政策のリスク便益分析

研究課題名(英文) Risk-benefit analysis of the regulation of food contamination with radioactive substances

研究代表者

岡 敏弘 (Oka, Toshihiro)

福井県立大学・経済学部・教授

研究者番号：00231209

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：福島第一原発事故によって放出された放射性セシウムによる食品汚染に対してとられた規制政策の効果と費用とを評価し、費用便益分析を行い、効率的な規制のあり方を示した。規制に対応する対策として、出荷や生産の制限と農業における放射性セシウム低減対策を取り上げ、その費用を測った。また、政策の効果は、規制によって消費者が摂取する放射性セシウムの減少によるがんのリスクの低下によってもたらされる損失余命の減少によって測った。損失余命1年減少の便益を2000万円とした時、米の効率的な基準値は390Bq/kg、あんぼ柿の効率的な基準値は3600Bq/kg、または徐々に厳しくなる基準値であることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The food safety regulation implemented to address the contamination with radioactive caesium released by the accident of Fukushima Daiichi nuclear power plant was evaluated with respect to its costs and benefits. The costs of the regulation were estimated for the prohibition of the distribution and the processing of agricultural products, and for the countermeasures to reduce the caesium concentration in products. The effects of the regulation were measured by the reduction in the loss of life-expectancy due to the reduction of cancer risk through the reduction of radio-caesium intake. Assuming the benefit from the reduction in loss of life-expectancy by one year is 20 million yen, the efficient value for food standard became 390Bq/kg for rice, and 3600Bq/kg or gradually stringent values for dried Japanese persimmon.

研究分野：環境経済学

キーワード：福島第一原発 放射性セシウム 発がんリスク 損失余命 費用便益分析 食品安全 規制

1. 研究開始当初の背景

2011年3月の福島第一原子力発電所の事故の直後から、放射性物質による食品の汚染が見つかり、国は暫定規制値を定めて規制を始めた。出荷制限や加工自粛が行われ、汚染地域の農家は大きな影響を受けた。国は暫定規制値による規制と平行して、基準値の策定にとりかかり、2012年4月からは、より厳しい基準値（一般食品の放射性セシウムで100Bq/kg）が適用された。

放射線被曝の健康影響のうち、低線量で問題になるのはがんであるが、この影響には閾値があるという明確な証拠がなく、国際放射線防護委員会（ICRP）はこれまで、影響は線形で閾値がないとして防護対策をとるよう勧告してきた。閾値なしなら、被曝をゼロにしない限りリスクはゼロにならないので、リスクをどこまで我慢するかを決めることなしに、規制の基準を決めることができない。我慢するリスク水準を決めるには、リスクと引き替えに得る便益、同じことだが、リスクを減らすための費用を考慮に入れざるを得ない。

ところが、食品の新基準値の決定では、減るリスクの大きさもかかる費用も考慮されなかった。それら考慮してリスク削減政策を決めるという考え方を「リスク便益原則」と言われる—は、放射線防護の世界では古くからあるが、事故による広範囲の汚染が起こった後の「現存被曝状況」でこの原則を具体的にどのように適用するかについて、誰も明らかにはしていなかった。

2. 研究の目的

福島第一原発事故による食品の放射性物質汚染に対して行われた規制の費用と効果を測り、費用便益分析を行って規制の効率性を判定し、リスク便益原則に基づいた基準値を示すのが目的である。

3. 研究の方法

3.1 食品放射能規制の効果と費用

3.1.1 出荷制限

出荷制限によって流通しなくなった食品を消費者が摂食しないことによる、放射性セシウム摂取量の

減少に、放射性セシウム経口摂取の線量係数をかけて被曝線量の低減分を算出し、それに線量あたりの損失余命係数をかけて得られる損失余命減少分を出荷制限の効果と見なす。他方、出荷制限によって実現しなかった農産物の正味の価値を出荷制限の費用と見なす。

3.1.2 農業での放射性セシウム低減対策

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。試験加工の結果得られた実際の放射性セシウム濃度の推移と、除染の有無による濃度低減率の差についての文献値から、除染による長期のあんぼ柿中放射性セシウム濃度低減効果を推定した。それをもとに、摂取量の減少分、損失余命減少分を推定した。福島県伊達市の果樹除染費用から低減対策費を推定した。

米については、福島県全体で水田のセシウム吸収抑制対策がとられている。カリ肥料を投入して深耕するというものである。対策をとらなかった場合の自然の減衰率を文献値から推定し、2012年産の玄米中濃度から、放射性セシウム濃度の対策による減少分を特定し、そこから、摂取量の減少分と損失余命の減少分を推定した。費用は伊達市の実績から決定した。

3.2 食品放射能規制の費用便益分析と効率的基準値

3.2.1 費用便益分析

規制の効果はすべて損失余命減少として求められる。その費用が得られるので、損失余命を1年回避するのにかかった費用を計算できる。年死亡率の一定量の削減に対する人々の支払意思額に関する調査から割り出される確率的生命の価値についての既存研究からの推定値から、損失余命1年回避がもたらす便益を得る。これを、食品放射能規制の諸対策での損失余命1年回避費用と比較する。

3.2.2 効率的な基準値

(1) 出荷制限

出荷制限や加工自粛など、農産物の流通を止める対策では、それによって実現しない生産物の正味の価値が費用となる。その費用が、対策の便益を超えないような食品中の濃度が、効率的な規制基準値となる。損失余命1年回避便益を v 円/年、放射性セシ

ウム 1Bq 摂取による損失余命を c 年/Bq、流通を止めることによって実現しない正味の価値を p 円/kg とすると、放射性セシウムを x Bq/kg 含む食品の出荷を止めることの便益がその費用を超えない条件は

$$vcx \geq p$$

となり、効率的な基準値 x_0 は $x_0 = p/(vc)$ である。

(2) 農業における低減対策

低減対策による濃度減少分を Δx Bq/kg、対策の費用を q 円/kg とすると、対策が効率的になる条件は

$$vc\Delta x \geq q$$

である。 $\Delta x = kx$ という関係があれば、上の不等式は

$$x \geq \frac{q}{vck}$$

となり、 $x_1 = q/(vck)$ とすると、対策のない場合に x_1 以上の濃度になるなら、対策が効率的となる。そこで、 $\bar{x} = x_1/(1-k)$ 、対策をとらないときの濃度を x とし、 x_1 を基準値とすれば

- i) $x \leq x_1$ であれば、対策をとらずに出荷され、
- ii) $x_1 < x \leq \bar{x}$ であれば、対策をとって出荷され、
- iii) $\bar{x} < x$ であれば、対策はとられず出荷されないだろう。

ところが、 $x_0 < x_1$ であれば、

- i) $x \leq x_0$ ならば、対策をとらずにそのまま出荷し、
- ii) $x_0 < x < x_1$ ならば、対策をとらず出荷もせず、
- iii) $x_1 \leq x \leq \bar{x}$ ならば、対策をとって出荷し、
- iv) $\bar{x} < x$ ならば、対策をとらず出荷しない

のが効率的であるが、これを実現する単一の基準値は存在しない。他方、 $\bar{x} < x_0$ であれば、

- i) $x \leq x_1$ ならば、対策をとらずにそのまま出荷し、
- ii) $x_1 < x < x_0$ ならば、対策をとって出荷し、
- iii) $x_0 < x$ ならば、対策をとらず出荷しない

のが効率的であるが、これを実現する単一の基準値も存在しない。

それに対して $x_1 \leq x_0 \leq \bar{x}$ であれば、 x_1 を基準値にすれば、効率的な対策および出荷が行われることになる。現実がどれに当たるかを調べて、効率的な規制を考えなければならない。

4. 研究結果

4.1 使用した諸係数

原爆被爆生存者の疫学調査の結果を 2010 年生命表とがん死亡率に当てはめて、実効線量の年齢別損失余命係数を得た (全年齢平均では 1.1×10^{-3} 年/mSv)。これと ICRP が発表している放射性セシウムの経口摂取の線量係数を使って、全年齢平均の放射性セシウム経口摂取の損失余命係数を得た (表 1)。

表 1 放射性セシウム経口摂取の損失余命係数

(年/Bq)		
Cs-134	Cs-137	放射性 Cs 計 ¹⁾
2.0×10^{-8}	1.4×10^{-8}	1.6×10^{-8}

1)Cs-134 と Cs-137 とが同量存在したとき。

年死亡率削減への支払意思額 (WTP) 調査による日本人の確率的生命の価値 (VSL) の諸結果から平均を求めると約 8 億円になる。全年齢の平均余命を 40 年とすると、余命 1 年延長の便益は 2000 万円となる。

4.2 規制の効果と費用

4.2.1 出荷制限

2011 年 3 月から 5 月にかけての葉物野菜の出荷制限の効果と費用とを表 2 にまとめる。

表 2 2011 年の福島県産葉物野菜の出荷制限の効果と費用

	3 月	4 月	5 月
平均 Cs 濃度 (Bq/kg)	2000 (1200-2800)	530 (370-690)	170 (140-200)
Cs 摂取回避量 (MBq)	1300 (800-1900)	270 (190-360)	55 (45-66)
回避損失余命 (人・年)	21 (12-30)	4.3 (3.0-5.6)	0.87 (0.70-1.0)
費用 (億円)	1.7	2.2	0.89
余命 1 年あたり	0.080	0.51	1.0
費用 (億円)	(0.057-0.13)	(0.39-0.74)	(0.86-1.3)

() は平均濃度推定値の区間推定に基づく 90% 信頼区間。

米の出荷制限の効果と費用は表 3 のとおりである。

表3 2011年産米の出荷制限の効果と費用

	500Bq/kg を超える地域		100-500Bq/kg の地域
	大波地区	その他	
白米平均 Cs 濃度 (Bq/kg)	52 (50-54)	24 (23-26)	16 (16-16)
摂取回避量 (MBq)	9.1 (8.8-9.5)	97 (91-100)	470 (460-470)
回避損失余命 (人・年)	0.14 (0.14-0.15)	1.5 (1.4-1.6)	7.3 (7.2-7.5)
費用 (億円)	0.45	10	76
余命1年あたり費用 (億円)	3.1 (3.0-3.2)	6.6 (6.2-7.1)	10 (10-10)

() は平均濃度推定値の区間推定に基づく 90% 信頼区間。

4.2.2 農業でのセシウム低減対策

試験加工されたあんぼ柿の放射性セシウム濃度の平均の推移は図1のとおりである。この濃度低下は除染によるものばかりでなく、物理的壊変や自然の減衰によるものを含んでいる。

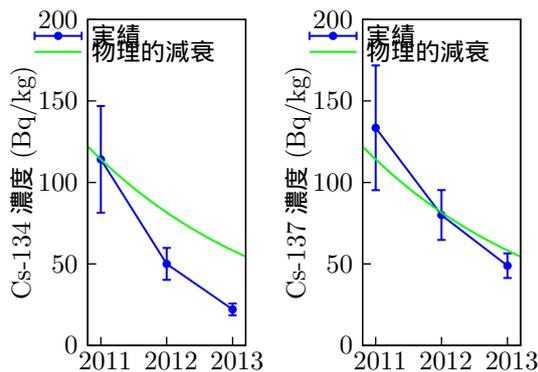


図1 試験加工でのあんぼ柿のCs濃度(伊達地域)。誤差棒は母集団平均の90%信頼区間。

福島県農業総合センターの調査によれば、除染の有無は果実中のセシウム濃度に2ヶ年にわたって影響し、その違いは減衰係数の差0.344(95%CI:0.229-0.459)として現れる。そこで、除染を行わなかった場合に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。

伊達地方のあんぼ柿生産量1700tにこの濃度差を乗ずれば、あんぼ柿を食べた場合の放射性セシウム摂

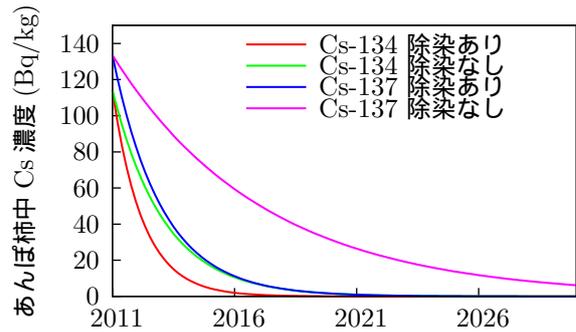


図2 除染の有無によるあんぼ柿中Cs濃度の差

取量の削減分が得られる。それに損失余命係数をかけると、除染による損失余命回避量が得られる。累積の回避量を図3に示す。

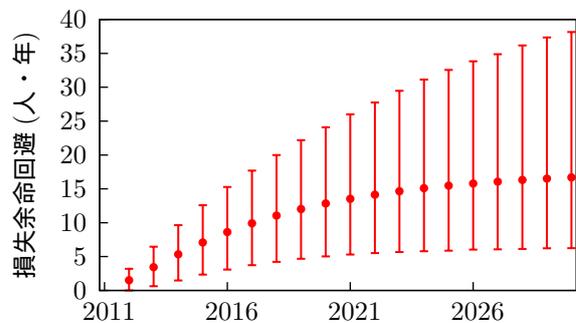


図3 柿樹皮除染による累積損失余命回避。誤差棒はセシウム濃度と減衰係数の標準誤差による90%信頼区間を示す。

伊達市の果樹除染費用7億3411万円から伊達地方の柿の費用を推定すると6億2209万円となる。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2030年の19年では3700万円である。

2011年産米で、14地区(旧町村)で100Bq/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4のとおりである。2011年産では4.495%の農家で100Bq/kgを超える米が産出され、18.440%の農家で

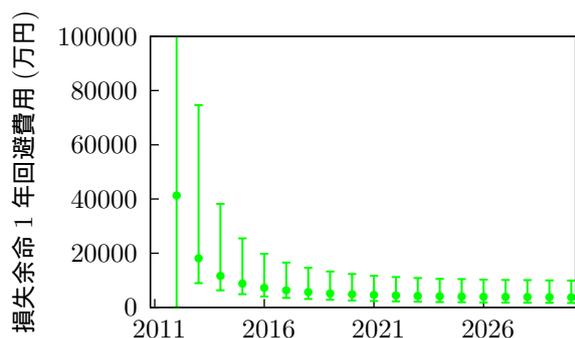


図4 柿除染の余命1年あたり費用

表4 2012年の全袋検査の結果(伊達市分)

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。

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。これらの米が表4の濃度に移行した(図5)。2011年に100Bq/kgを超えた4.495%分の米のほとんどは、2012年に放射性セシウムの検出されない米に移行した。このケースを最も削減幅が大きかった例として評価する。

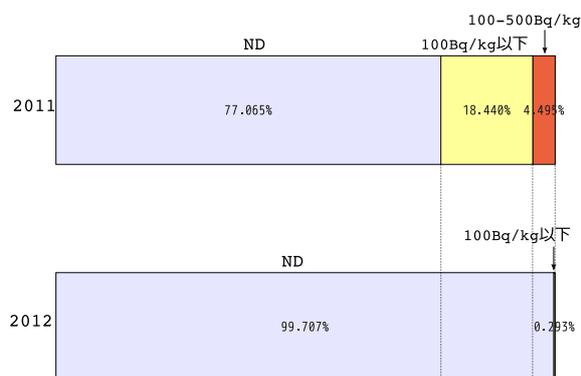


図5 米の放射性Cs濃度(伊達市2011年産と2012年産)

対策の費用は86.6万円/ha(195円/kg-玄米)である。

i) 自然減衰係数0.424を仮定した場合、対策による

削減は、玄米で98.5Bq/kg、白米で47.8Bq/kgで、余命1年延長費用は2.4億円。

ii) 自然減衰係数0.0935を仮定した場合—核実験放射性降下物の玄米濃度推移から—、対策による削減は、玄米で142Bq/kg、白米で68.9Bq/kgで、余命1年延長費用は1.7億円。

iii) ケイ酸カリ施用が玄米Csを0.575倍にすると仮定した場合、対策による削減は、白米(2年分)で9.04Bq/kgで、余命1年延長費用は13億円。

iv) 玄米Csの比が土壌交換性カリ含量の比の-1.79乗に比例する場合、対策による削減は、玄米で55.7Bq/kg、白米で27.0Bq/kgで、余命1年延長費用は4.4億円。

4.3 費用便益分析

2011年3月の野菜の出荷制限だけが、余命1年あたり2000万円以下の費用であった。米の出荷制限は最低でも3.1億円/年-LLEの費用をかけた。

農業生産でのセシウム低減対策のうち、柿の除染は影響を長期に見れば、2012年に加工して出荷して食べていたと仮定すれば、数千万円/年-LLEで比較的効率的だったと言える。

米の吸収抑制策は、どの評価法で見ても、数億円/年-LLEの費用をかけており、米を出荷制限にした規制と同等の非効率性を示した。

4.4 効率的な基準値

4.4.1 出荷制限の場合

出荷制限の場合、 x_0 が効率的な基準値である。葉物野菜の平均費用が320円/kgであったことから、葉物野菜の効率的な基準値は1000Bq/kgとなる。米は、平均費用が230円/kgなので、効率的基準値は720Bq/kgである。あんぼ柿は、平均費用が1200円/kgで、効率的基準値は3600Bq/kgである。

4.4.2 農業における低減対策の場合

(1) 野菜

野菜は特段の低減対策をとらなくても現行基準値100Bq/kgを下回り、現行基準値で効率的である。

(2) 米

2013年以降の費用は49.9万円/haで、これは112円/kgに当たる。よって、効率的な Δx は345Bq/kg。塩化カリによる抑制効果が、佐久間・藤澤(2014)の結

果に従うとすると、塩化カリ施用の時の減衰係数が、施用年 1.67, 次年 0.58 で、無対策の場合の施用年の濃度と比べて、その年 0.812, 次年 0.072, 合計 0.884 が削減されることになる。345Bq/kg を 0.884 で割ると、 $x_1 = 390$ [Bq/kg] となり、 $\bar{x} = 2100$ [Bq/kg]。 $x_1 \leq x_0 \leq \bar{x}$ のケースなので、390Bq/kg を基準値にすれば、効率的な行動が起こる。

(3) あんぽ柿

樹皮除染の費用は、358 円/kg。初年に Cs-137 が 1Bq あった時の、除染による、その後 20 年間の損失余命回避は 7.4×10^{-8} 年である。よって、初年に Cs-137 が

$$\frac{358[\text{円/kg}]}{7.4 \times 10^{-8}[\text{年/Bq}] \times 2 \times 10^7[\text{円/年}]} = 241[\text{Bq/kg}]$$

以上あれば、除染は効率的である。このとき Cs-134 が 206Bq/kg あるから、放射性セシウム合計が 450Bq/kg 以上あるとき、除染は効率的である。

初年に放射性セシウムが 450Bq/kg あったとき、次年の濃度は、除染すると 240Bq/kg になり、除染しないと 340Bq/kg になる。よって、 $x_1 = 340$ [Bq/kg], $\bar{x} = 450$ [Bq/kg]。しかし、 $x_0 = 3600$ [Bq/kg] であったから、 $\bar{x} < x_0$ の場合に当たる。この時、 x_1 を基準値にすると、除染しない場合 $\bar{x} < x \leq x_0$ になる木のあんぽ柿は出荷できなくなり、規制が非効率になる。効率的な規制政策は、340 ~ 3600Bq/kg になる木に対策を義務付け、3600Bq/kg を超えるあんぽ柿の加工をやめることである。

実際にはすべての樹園地で除染はすでに行われているから、単に 3600Bq/kg の基準値を課すだけで、効率的な規制には十分である。しかし、例えば、2012 年 420Bq/kg、2015 年 200Bq/kg、2019 年 100Bq/kg といった、徐々に厳しくしていく基準値を課したとしても社会的損失はない。

5. 主な研究発表等

[雑誌論文](2 件)

- (1) 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—」『日本リスク研究会誌』査読有 24(2): 101-110。

- (2) Murakami, M., Ono, K., Tsubokura, M., Nomura, S., Oikawa, T., Oka, T., Kami, M., Oki, T. (2015), 'Was the Risk from Nursing-Home Evacuation after the Fukushima Accident Higher than the Radiation Risk?', *PLOS One* 査読有り, 10: 1-16, DOI 10.1371/journal.pone.0137906.

[学会発表](6 件)

- (1) Oka, T., 'Cost-Effectiveness of the Decontamination Activities in the Evacuation Zones Due to the Fukushima Nuclear Accident', Society for Risk Analysis, Baltimore, USA, 2013 年 12 月 9 日。
- (2) 岡敏弘「農業における放射能汚染対策の費用便益分析」環境経済・政策学会、法政大学 2014 年 9 月 13 日。
- (3) 岡敏弘「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—」日本リスク研究会、京都大学 2014 年 11 月 30 日。
- (4) Oka, T., 'Cost-Benefit Analysis of the Countermeasures for Agricultural Products against Contamination with Radioactive Substances in the Cases of Japanese Persimmon and Rice', Society for Risk Analysis, Denver, USA, 2014 年 12 月 8 日。
- (5) Oka, T., 'Efficient Food Standards for Radioactive Caesium Based on Cost-Benefit Analysis of the Regulation', World Congress on Risk, Singapore, 2015 年 7 月 21-23 日。
- (6) Oka, T., 'Efficient Food Standards for Radioactive Caesium Based on Cost-Benefit Analysis of the Regulation', Society for Risk Analysis, Arlington, USA, 2015 年 12 月 7 日。

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
岡 敏弘 (Oka Toshihiro)
福井県立大学経済学部教授
研究者番号: 00231209