

Can radiation-contaminated food be
marketed? *

Makoto SAITO Masataka SUZUKI
に関するコメント

東京大学大学院工学系研究科
技術経営戦略学専攻
縄田和満

論文の意義

- 福島第一原発事故は、東北・関東を中心とした地域に放射性物質による深刻な汚染をもたらした。
- 日本は、今後、数十年以上、この問題に対応していかなければならない。
- 汚染による最大の問題の1つが、食品（飲料水等を含む）に含まれる放射性物質による体内被曝の問題である。

- この論文は、牛乳を例にとり、（消費者が受け入れる）放射性セシウムの汚染度と価格をアンケート調査の結果を使って、分析したものである。
- 当然のことながら、これまでに、このような研究はなく、我が国の最重要課題に取り組んだ最初の研究として高く評価できる。
- また、他の食品に関しても同様の研究が必要となると考えられる。

福島第一原発1-4号機の概要

1号機

出力 46.0万 kw、 燃料 二酸化ウラン、 約 69 t / 年、 営業運転開始日 1971年3月.

2号機

出力 78.4万 kw、 燃料 二酸化ウラン、 約 94 t / 年、 1974年7月

3号機

出力、 78.4万 kw、 燃料 MOX燃料 (プルサーマル):3割程度 二酸化ウラン、 約 94 t / 年、 1976年3月

4号機

出力、 78.4万 kw、 燃料 二酸化ウラン、 約 94 t / 年、 1978年10月

出典:

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%A6%8F%E5%B3%B6%E7%AC%AC%E4%B8%80%E5%8E%9F%E5%AD%90%E5%8A%9B%E7%99%BA%E9%9B%BB%E6%89%80>

使用済み燃料

asahi.com

トップ ニュース スポーツ エンタメ ライフ ショッピング Astand トピックス

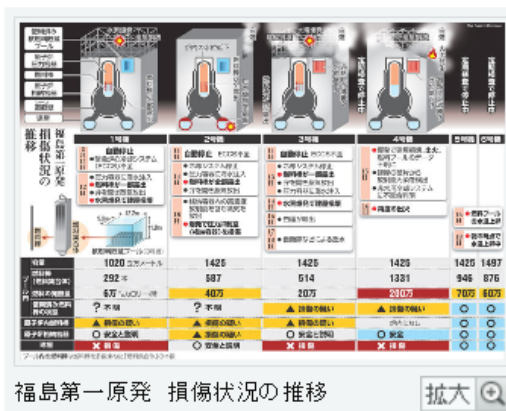
社会 ビジネス 政治 国際 文化 サイエンス 社説 コラム 天気 交通 動画 マイタウン English

現在位置: asahi.com > ニュース > 社会 > 災害・交通情報 > 記事

4号機プールの核燃料、発熱突出 まだ使用途中の燃料も

2011年3月18日23時31分

B! いいね! チェック 印刷



東京電力は18日、福島第一原発1～6号機(福島県)の使用済み核燃料貯蔵プールの保管状況を公表した。全基のプールにある核燃料集合体は計4546本。建屋で火災が起きた4号機のプールにある核燃料の発熱量がとくに大きいことが明らかになった。プールに水を補給する冷却システムが働かず、燃料の熱で水が蒸発し、過熱した燃料が損傷する恐れがある。

六つの原子炉がある福島第一原発のうち、4号機のプールの発熱量はとくに大きい。使用済み燃料783本のほか、まだ使い終わっていない燃料548本が保管されている。機器の交換のため炉内から取り出されていた。使い終わっていない燃料の方が使用済み燃料より熱が大きいことも発熱量の大きさに影響している。

出典: <http://www.asahi.com/national/update/0318/TKY201103180577.html>

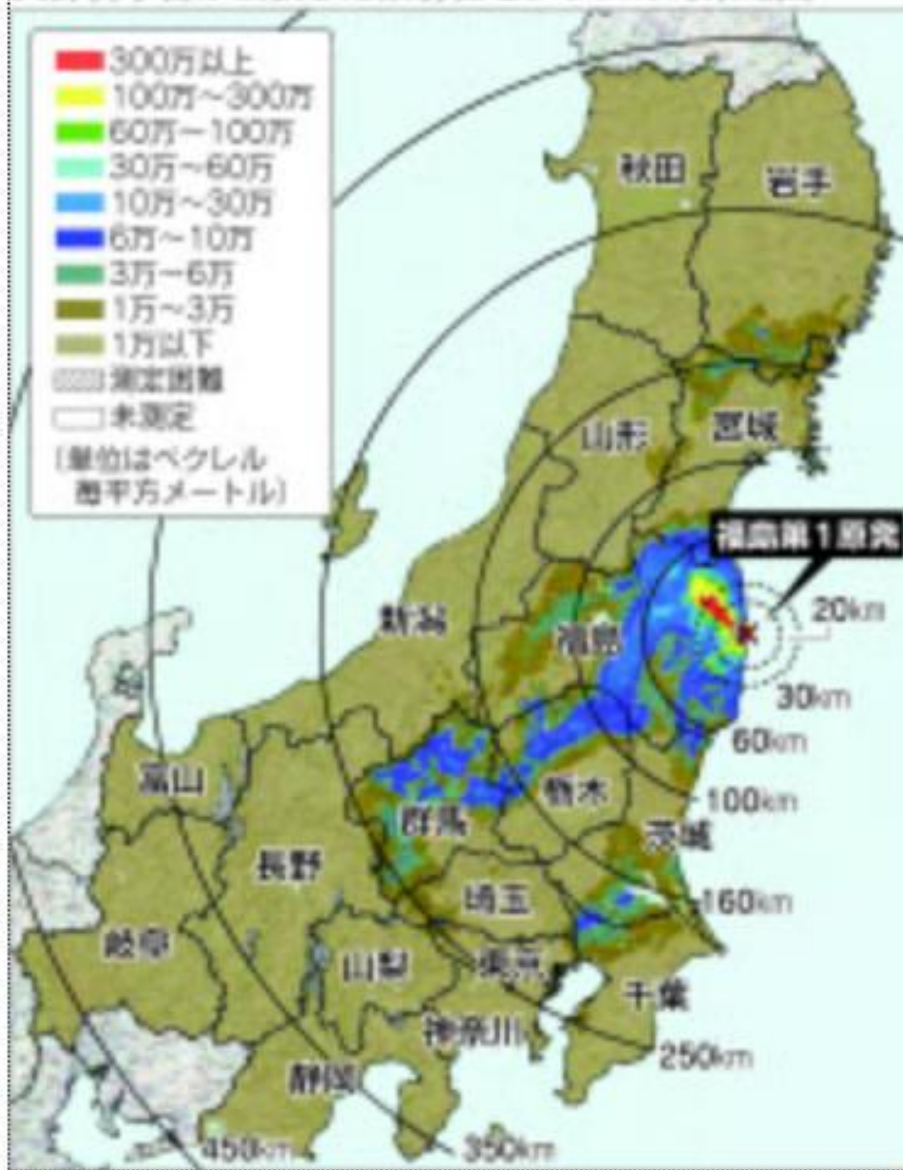
表5 解析で対象とした期間での大気中への放射性物質の放出量の試算値(Bq)

核種	半減期	1号機	2号機	3号機	合計
Xe-133	5.2 d	3.4×10^{18}	3.5×10^{18}	4.4×10^{18}	1.1×10^{19}
Cs-134	2.1 y	7.1×10^{14}	1.6×10^{16}	8.2×10^{14}	1.8×10^{16}
Cs-137	30.0 y	5.9×10^{14}	1.4×10^{16}	7.1×10^{14}	1.5×10^{16}
Sr-89	50.5 d	8.2×10^{13}	6.8×10^{14}	1.2×10^{15}	2.0×10^{15}
Sr-90	29.1 y	6.1×10^{12}	4.8×10^{13}	8.5×10^{13}	1.4×10^{14}
Ba-140	12.7 d	1.3×10^{14}	1.1×10^{15}	1.9×10^{15}	3.2×10^{15}
Te-127m	109.0 d	2.5×10^{14}	7.7×10^{14}	6.9×10^{13}	1.1×10^{15}
Te-129m	33.6 d	7.2×10^{14}	2.4×10^{15}	2.1×10^{14}	3.3×10^{15}
Te-131m	30.0 h	<u>2.2×10^{15}</u>	<u>2.3×10^{15}</u>	<u>4.5×10^{14}</u>	<u>5.0×10^{15}</u>
Te-132	78.2 h	<u>2.5×10^{16}</u>	<u>5.7×10^{16}</u>	<u>6.4×10^{15}</u>	<u>8.8×10^{16}</u>
Ru-103	39.3 d	2.5×10^{09}	1.8×10^{09}	3.2×10^{09}	7.5×10^{09}
Ru-106	368.2 d	7.4×10^{08}	5.1×10^{08}	8.9×10^{08}	2.1×10^{09}
Zr-95	64.0 d	4.6×10^{11}	1.6×10^{13}	2.2×10^{11}	1.7×10^{13}
Ce-141	32.5 d	4.6×10^{11}	1.7×10^{13}	2.2×10^{11}	1.8×10^{13}
Ce-144	284.3 d	3.1×10^{11}	1.1×10^{13}	1.4×10^{11}	1.1×10^{13}
Np-239	2.4 d	3.7×10^{12}	7.1×10^{13}	1.4×10^{12}	7.6×10^{13}
Pu-238	87.7 y	5.8×10^{08}	1.8×10^{10}	2.5×10^{08}	1.9×10^{10}
Pu-239	24065 y	8.6×10^{07}	3.1×10^{09}	4.0×10^{07}	3.2×10^{09}
Pu-240	6537 y	8.8×10^{07}	3.0×10^{09}	4.0×10^{07}	3.2×10^{09}
Pu-241	14.4 y	3.5×10^{10}	1.2×10^{12}	1.6×10^{10}	1.2×10^{12}
Y-91	58.5 d	3.1×10^{11}	2.7×10^{12}	4.4×10^{11}	3.4×10^{12}
Pr-143	13.6 d	3.6×10^{11}	3.2×10^{12}	5.2×10^{11}	4.1×10^{12}
Nd-147	11.0 d	1.5×10^{11}	1.3×10^{12}	2.2×10^{11}	1.6×10^{12}
Cm-242	162.8 d	1.1×10^{10}	7.7×10^{10}	1.4×10^{10}	1.0×10^{11}
I-131	8.0 d	1.2×10^{16}	1.4×10^{17}	7.0×10^{15}	1.6×10^{17}
I-132	2.3 h	<u>1.3×10^{13}</u>	<u>6.7×10^{08}</u>	<u>3.7×10^{10}</u>	<u>1.3×10^{13}</u>
I-133	20.8 h	<u>1.2×10^{16}</u>	<u>2.6×10^{16}</u>	<u>4.2×10^{15}</u>	<u>4.2×10^{16}</u>
I-135	6.6 h	<u>2.0×10^{15}</u>	<u>7.4×10^{13}</u>	<u>1.9×10^{14}</u>	<u>2.3×10^{15}</u>
Sb-127	3.9 d	1.7×10^{15}	4.2×10^{15}	4.5×10^{14}	6.4×10^{15}
Sb-129	4.3 h	<u>1.4×10^{14}</u>	<u>5.6×10^{10}</u>	<u>2.3×10^{12}</u>	<u>1.4×10^{14}</u>
Mo-99	66.0 h	<u>2.6×10^{09}</u>	<u>1.2×10^{09}</u>	<u>2.9×10^{09}</u>	<u>6.7×10^{09}</u>

※：表4で示す各ケースのうち、実態の1号機では感度解析ケース2、2号機では事業者解析ケース2、3号機では事業者解析ケース2

- 本研究で対象とした放射性セシウムの放出量
- Cs-134、1.8京（1.8万テラ）ベクレル（400g弱）
- Cs-137、1.5京（1.5万テラ）ベクレル（5kg弱）
- 参考電気出力100万kWの軽水炉を1年間運転すると：Cs-137：14京ベクレル
- チェルノブイリ原発事故では、：Cs-137：8京ベクレル、Cs-134：4京ベクレル

文部科学省が公表した放射性セシウムの汚染地図



出典: <http://www.nikkei.com/news/category/article/g=96958A9C93819695E3E3E2E1868DE3E3E3E0E2E3E39180EAE2E2E2;at=DGXZZO0195583008122009000000>

- **ベクレル** (becquerel, 記号: **Bq**) とは、放射能の量を表す単位で、SI組立単位の1つである。単位記号は、[Bq]である。1 s(秒)間に1つの原子核が崩壊して放射線を放つ放射能の量が1 Bqである。
- ベクレルは数値の桁が大きくなるため、kBq (kilobecquerel, 10^3Bq)、MBq (megabecquerel, 10^6Bq)、GBq (gigabecquerel, 10^9Bq)、TBq (terabecquerel, 10^{12}Bq)を使用することが多い。
- 出典: <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%99%E3%82%AF%E3%83%AC%E3%83%AB>

放射性セシウム(セシウム137)

- **半減期** 30.1年
ベータ線を放出してバリウム-137(^{137}Ba)となるが、94.4%はバリウム-137m($^{137\text{m}}\text{Ba}$ 、2.6分)を経由する。バリウム-137mからガンマ線が放出される。
- **生体に対する影響**
10,000ベクレルを経口摂取した時の実効線量は0.13ミリシーベルトになる。また、1mの距離に100万ベクレルの小線源があると、ガンマ線によって1日に0.0019ミリシーベルトの外部被曝を受ける。
出典: <http://cnic.jp/modules/radioactivity/index.php/13.html>
- 1 gのセシウム137のは 3.2テラベクレル。

セシウム134

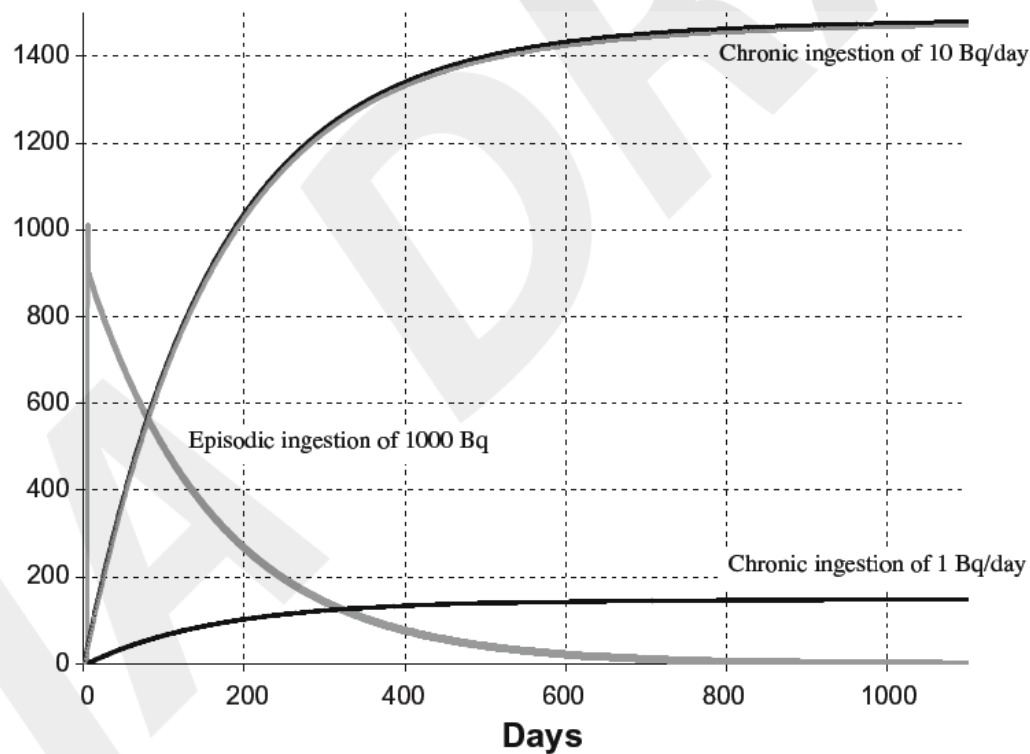
- **半減期** 2.06年
ベータ線を放出してバリウム-134(^{134}Ba)となり(99.9997%)、軌道電子を捕獲してキセノン-134(^{134}Xe)にもなる(0.0003%)。多くのガンマ線が放出される。
- **生体に対する影響**
体内に摂取した時のベータ線による内部被曝が問題になり、10,000ベクレルを経口摂取した時の実効線量は0.19ミリシーベルトになる。また、1mの距離に100万ベクレルの小さな線源があると、ガンマ線によって1日に0.0055ミリシーベルトの外部被曝を受ける。
- 出典: <http://cnic.jp/modules/radioactivity/index.php/12.html>

- **化学的、生物学的性質**

セシウムの化学的性質と体内摂取後の挙動は、生物にとって重要な元素であるカリウムと似ている。体内に入ると全身に分布し、約10%はすみやかに排泄され、残りは100日以上滞留する。成人の体内にあるセシウムの量は1.5mgで、カリウムの140gの約10万分の1である。

出典：<http://cnic.jp/modules/radioactivity/index.php/12.html>

毎日10Bq摂取した場合：1400Bq程度



出典：icrp publication 111、<http://www.jrias.or.jp/index.cfm/6,15092,76,html>

天然の放射性物質

- カリウム (K40) および炭素 (C14) の影響で体重 60kg の人間は 6,000Bq 程度の天然放射性物質があるとされている。

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%A2%AB%E6%9B%9D>

放射線の強さ

- (ベクレルで測ったときに) 同じ量の ^{137}Cs と ^{134}Cs があれば、それぞれからの放射線の強さの比は 1 : 2.7 程度になるということがわかる。つまり放射線の 7 割程度が ^{134}Cs から出ている、残りの 3 割程度が ^{137}Cs から出ている。

経過年数	1	2	3	5	10	20	30	50
$p(t)/p(0)$	0.78	0.62	0.51	0.37	0.23	0.17	0.14	0.09

出典 : <http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/housha/details/Cs137vs134.html>

今後の問題点

- 降雨や河川等の流水による物理的な濃縮（ホット・スポット）
- 表層から植物の根の部分への汚染の深層化
- 生物濃縮：すでにキノコなどの菌類では異常に高い汚染が報告されている。**セシウム汚染：野生キノコから高濃度を検出 福島・棚倉町（毎日新聞9/3/2011）チチタケから2万8000ベクレルのセシウム**

放射性セシウムの暫定規制値

- 放射性セシウムの飲料水中及び牛乳・乳製品中の暫定規制値：200 Bq/kg (乳児は100Bq/kg)
- WHO 基準 (平常時) 10Bq/Kg
- 農産品：500Bq/kg

論文の概要

- モデルを使って、消費者が汚染された牛乳を買うかどうか、買う場合は(200円の牛乳に対して)いくらディスカウントがあれば買うかを分析。
- 7,600人の調査データを使って(モデルの推定には、回答に矛盾のない7,204人のデータを使用。)

結論

- According to estimation results, as milk contains more radiation, a contaminated milk market disappears quickly among those who originally perceive their own cancer risks to be rather low.
- Conversely, contaminated milk is still traded at discount prices among those who are regarded as having already carried considerable cancer risks.

3つのケース

Case1: 消費者は200円でディス
カウントなしで購入

Case2: 200円より安ければ購入

Case3: いかなる価格(0円でも)購
入しない

Table 1: The share of the respondents classified according to the three cases

	Case 1: a purchase without any discounting	Case 2: a purchase with discounting	Case 3: no purchase at any price	total
10 Bq	1,189 (15.6%)	2,934 (38.6%)	3,477 (45.8%)	7,600
50 Bq	892 (11.7%)	2,137 (28.1%)	4,571 (60.1%)	7,600
100 Bq	670 (8.8%)	1,516 (19.9%)	5,414 (71.2%)	7,600
200 Bq	428 (5.6%)	1,000 (13.2%)	6,172 (81.2%)	7,600

The contamination level (Bq)	total	mean	median	kurtosis
10 Bq	2,934	134.9	150	4.15
50 Bq	2,137	130.8	150	3.60
100 Bq	1,516	125.4	140	3.10
200 Bq	1,000	119.9	120	2.79

モデル

牛乳の価値が(1)式で与えられるとする

Suppose that consumer i evaluates one liter pack of radiation-contaminated milk according to the following equation:

$$v_i = -p_i d_i + 200(1 - p_i), \quad (1)$$

where p_i represents a subjective evaluation about the probability that cancer risks are realized, and d_i denotes a subjective assessment of a damage which would result from the realization of cancer risks. As equation (1) implies, the valuation of contaminated

Threshold point のある場合とない場合を考える

Figure 1-1: A case without any threshold

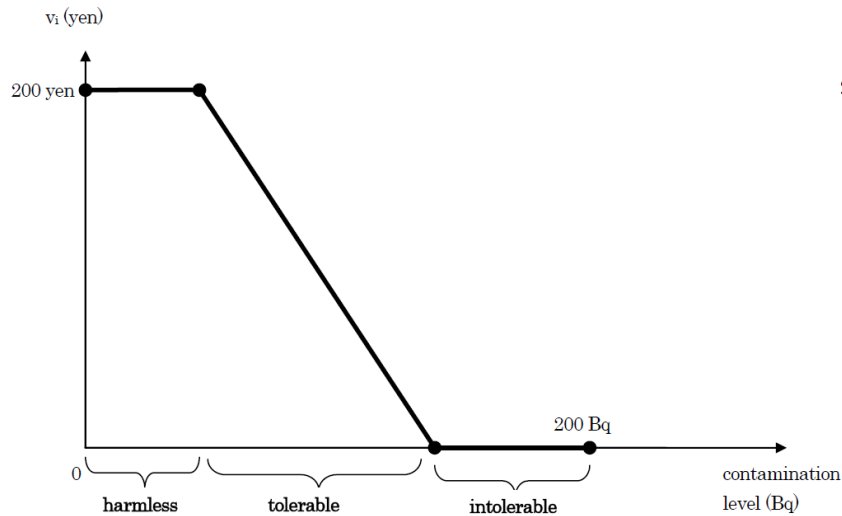
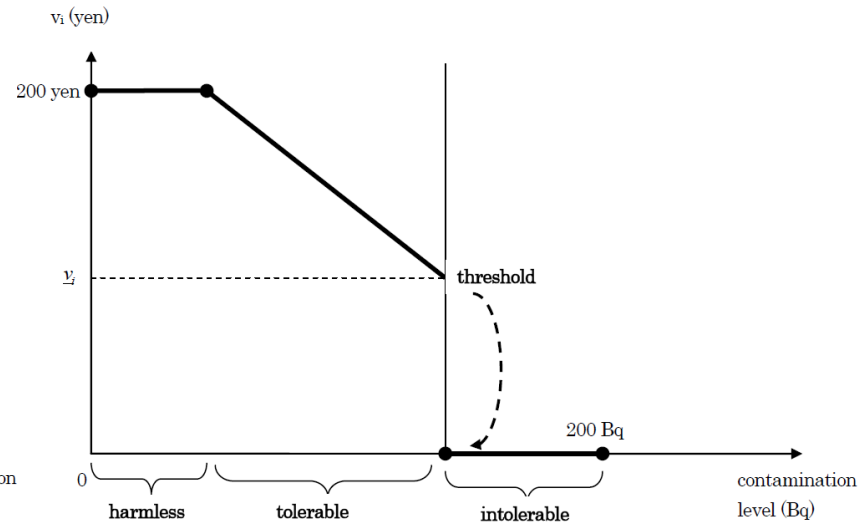


Figure 1-2: A case with a threshold



2段階の一様分布を考え、それによってどのケースになるかを決定。

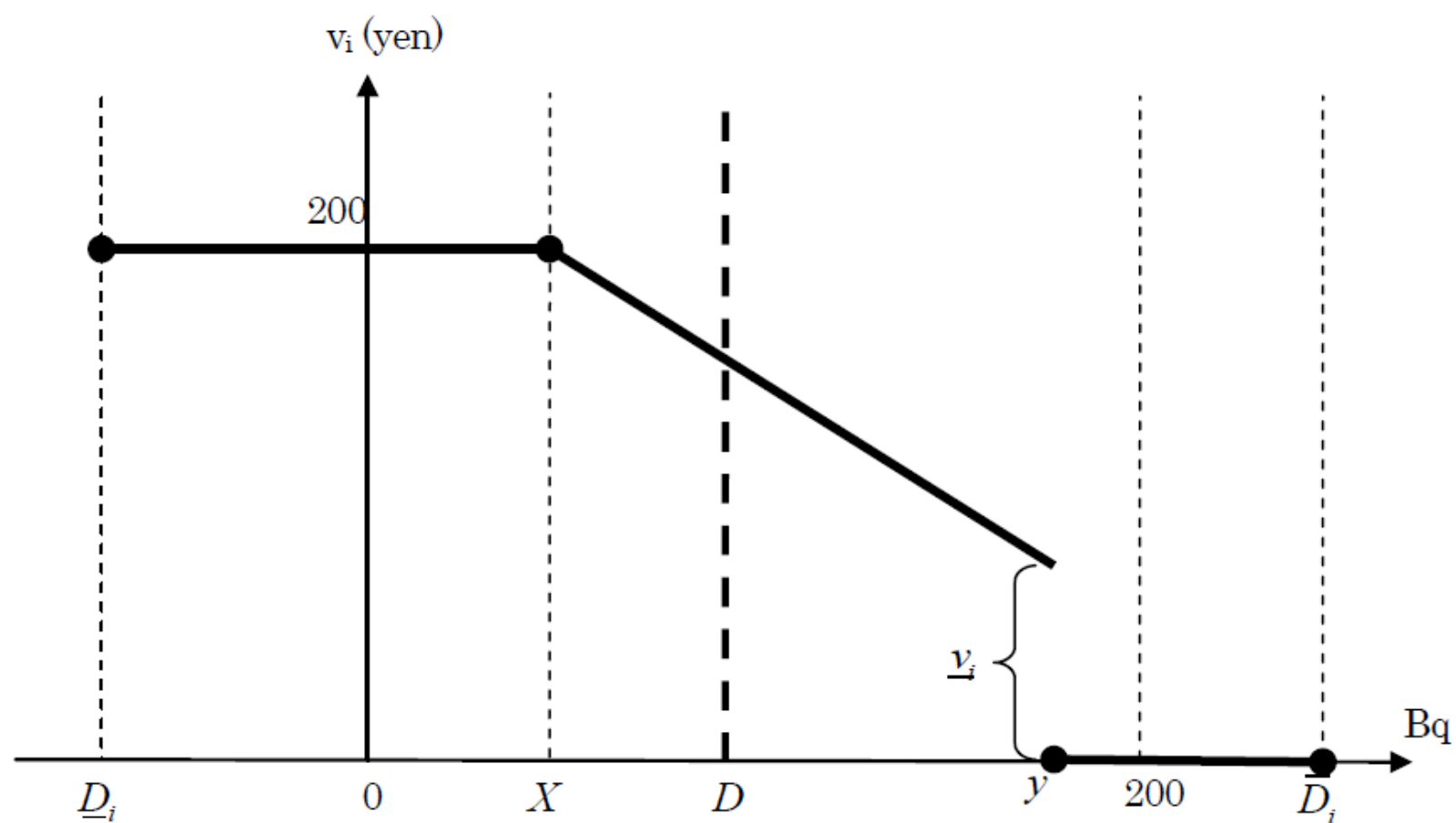
The above three cases are modeled as follows. The valuation v_i revealed by consumer i is characterized by two random variables, x and y , as idiosyncratic shocks. Here, x is uniformly distributed between $\underline{D}_i$ (≤ 0) and $\overline{D}_i$ (≥ 200), while given $x = X$, y is uniformly distributed between X and $\overline{D}_i$. That is,

$$x \sim U [\underline{D}_i, \overline{D}_i], \quad (3)$$

$$y|_{x=X} \sim U [X, \overline{D}_i], \quad (4)$$

where $U[.,.]$ denotes the uniform distribution operator.

Figure 2: A pattern in a consumer's valuation of radiation-contaminated milk



各状態の確率分布から、尤度関数を求め、モデルを推定。

$$\underline{D}_i = \mathbf{z}_i \beta + \text{const}_{\underline{D}}, \quad (20)$$

$$\underline{v}_i = \mathbf{z}_i \gamma + \text{const}_{\underline{v}}, \quad (21)$$

$$\ln L(\mathbf{v}_i | \Theta, D^1, D^2, D^3, D^4) = \begin{cases} \ln \Pr(\text{Case}), & \text{if } k^j \neq 2 \text{ for } j = 1, 2, 3, 4 \\ \ln \Pr(\text{Case}) + \ln \varphi(v_i^{j*} | \text{Case}), & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (27)$$

where

$$j^* = \max \left\{ j \mid \underline{v}_i < v_i^j < 200 \right\}. \quad (28)$$

Table 6: Maximum likelihood estimation results for $\underline{D}$, $\underline{v}$ and $\bar{D}$
under the second type of measurement errors (linear density functions)

	Specification 1					Specification 2				
	lower D		lower v		upper D	lower D		lower v		upper D
male dummy	361.24 *** (47.08)		-10.11 *** (1.28)			412.81 *** (45.26)		-14.01 *** (1.09)		
age dummy (twenties)	-124.55 * (69.68)		-28.89 *** (2.19)			-249.92 *** (75.33)				
(thirties)	-207.50 *** (72.99)		-30.69 *** (2.07)			-341.00 *** (83.29)				
(fourties)	-171.42 ** (72.12)		-25.91 *** (2.36)			-285.03 *** (78.72)				
(fifties)	-135.68 ** (64.22)		-17.11 *** (1.44)			-171.09 *** (64.15)				
income class	-24.76 (25.46)		1.79 (0.72)	**		-23.29 (24.50)		0.67 (0.65)		
spouse dummy	-55.06 (54.03)		-1.69 (1.60)			-80.77 (53.48)		11.38 (1.38)	***	
the number of children	52.03 (55.33)		-4.24 *** (1.21)			53.40 (55.43)		-3.06 (1.21)	**	
youngest child age dummy (between 0 and 2)	-392.62 ** (155.25)		22.98 *** (2.24)			-394.43 ** (157.40)		8.84 (2.18)	***	
(between 3 and 10)	-207.55 (138.22)		16.48 *** (4.02)			-189.61 (138.85)		0.70 (3.35)		
(between 11 and 15)	-192.77 (150.21)		21.81 *** (4.02)			-176.25 (149.15)		12.41 (4.21)	***	
(between 16 and 20)	-237.26 * (141.89)		15.31 *** (3.09)			-232.93 * (141.36)		9.17 (2.94)	***	
(over 20)	-192.70 * (109.01)		10.18 *** (2.15)			-225.10 ** (108.71)		19.75 (2.03)	***	
smoker dummy	81.59 * (46.56)		-0.48 (1.43)							
drinker dummy	90.36 ** (44.16)		1.39 (1.34)							
no habit of eating organic vegetables	48.76 (41.18)		-1.29 (1.17)							
participation in cancer insurance	10.58 (42.08)		1.52 (1.12)							
regular health checkup	-0.08 (42.24)		-0.13 (1.11)							
The predicted cancer risks based on the logit estimation						-1003.82 ** (450.00)		40.98 (10.09)	***	
no habit of drinking milk	-681.61 *** (85.76)		-1.26 (1.82)			-671.62 *** (85.49)		-1.90 (1.64)		
constant	-913.90 *** (85.87)		134.28 *** (2.31)		260.84 *** (2.02)	-513.25 *** (166.03)		100.98 (3.03)	***	260.95 *** (2.04)
Number of observations	7204					7204				
Wald chi-squared	215.6					218.3				
P-value of chi-square test	0.0000					0.0000				
Log Likelihood	-29465.6					-29507.9				

Q1

- モデリングにおける式(1)の意味。なぜ、これが正しいのか？
- なぜ、2重一様分布である式(3),(4)を仮定したのか？特に、分布に(絶対にありえない)負のベクレルの部分が出てくるのはなぜか？もっと良い方法はないのか？

Q2

- Threshold pointがあり、それを式(21)のようにした場合の識別性の問題。

$$v_i = \mathbf{z}_i \gamma + \text{const}_{\underline{v}}, \quad (21)$$

- Threshold pointが負になった場合は、Threshold pointがない場合と区別できないのでは？（すなわち、Case3は、Threshold point ありで0となった場合と、なしで0となった場合の混合分布を考えなければいけないのでは？）

Q3

- 3.3のMeasurement Errorsが分かりにくかったので、詳しく説明してほしい。

Q4

- 推定結果についてあるが、結局、健康に留意する人は買わない、無頓着な人は(安ければ)買うということのように思えるが、どうか？

Q5

- 本研究から得られる政策的な提言およびその影響は？
- 暫定基準値の改訂、(サンプル検査でなく)放射性測定義務づけ、その数値の公表

コメント

- Logitにおける推定値を代入した場合、誤差が生じるので、通常、漸近分布が異なってくる。この場合の分散共分散行列の推定には注意が必要であると思われる。