

原著

福島県内における空气中浮遊塵中の放射性同位元素の解析 および内部被ばくの算出

新井 正一¹⁾・土居 亮介²⁾・久志野 彰寛²⁾・大沼 雅明³⁾

- 1) 純真学園大学 保健医療学部 放射線技術科学科
- 2) 久留米大学 医学部 放射性同位元素施設
- 3) 久留米大学 医学部 生物学教室

Analysis of Radioisotope found in Floating Dust in the air and the Calculation of the Internal Exposure in Fukushima

Shoichi ARAI¹⁾, Ryosuke DOI²⁾, Akihiro KUSHINO²⁾, Masaaki OHNUMA³⁾

- 1) Department of Radiological Science, Faculty of Health Sciences, JUNSHIN GAKUEN UNIVERSITY
- 2) Radioisotope Institute for Basic and Clinical Medicine
- 3) Department of Biology, School of Medicine, KURUME UNIVERSITY

要旨: 2011年3月15日に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故によって放射性物質が放出された。震災後、原発より南に20km離れた福島県双葉郡広野町において、震災後1年目の2012年3月および3年半後の2014年8月にダストサンプラーを用いて空气中浮遊塵を収集し、その中に含まれる放射性物質を同定、量を算出した。その結果、2012年3月時点では134-Csが 9.26×10^{-7} Bq/l、137-Csが 2.42×10^{-7} Bq/l含まれていた。この空気を吸った場合の内部被ばくを算出すると0.95 μ Sv/年となった。2014年8月時点ではこれら放射性セシウムは検出限界以下となった。

被ばくには内部被ばく、外部被ばくの合算で評価されるが、本研究結果および他の先行論文の結果も踏まえて、福島住民の年間被ばく線量は1m Sv 以下になることが示唆された。

キーワード: 空气中浮遊塵, 放射性セシウム, 原子力災害, 内部被ばく, 東日本大震災

Abstract: Radioactive substances were released due to the accident of the Tokyo Electric Power Company Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. This accident has come to be known as the 'Great East Japan Earthquake' and occurred in March, 2011.

After this earthquake disaster in March, 2012 we collected drifting dust particles in the air using dust samplers located in Futabagun Hironomachi, Fukushima which is about 20km south of the nuclear power station. We conducted tests around one year after the earthquake disaster and again in August, 2014 which was approximately three and half years after the initial earthquake.

We identified and calculated the various concentration of radioactive substances. As a result, 9.26×10^{-7} Bq/l of 134-Cs were included and 2.42×10^{-7} Bq/l of 137-Cs were also included too. When internal exposure was calculated, in the case of people breathing this air we found it was 0.95 μ Sv/year. As of August, 2014 radioactive cesium especially among these radioactive substances was below the detection limit

Radioactive exposure is evaluated by a mixture of internal and external exposure and in consideration of the results of this research and precedent research. It has been suggested that the annual radiation exposure level to residents of Fukushima was below 1mSv.

Keyword: drifting dust in the air, radioactive cesium, Nuclear-power disaster, Internal radiation exposure, East Japan great earthquake disaster



図1 ダストサンプリングの様子（広野町役場前）

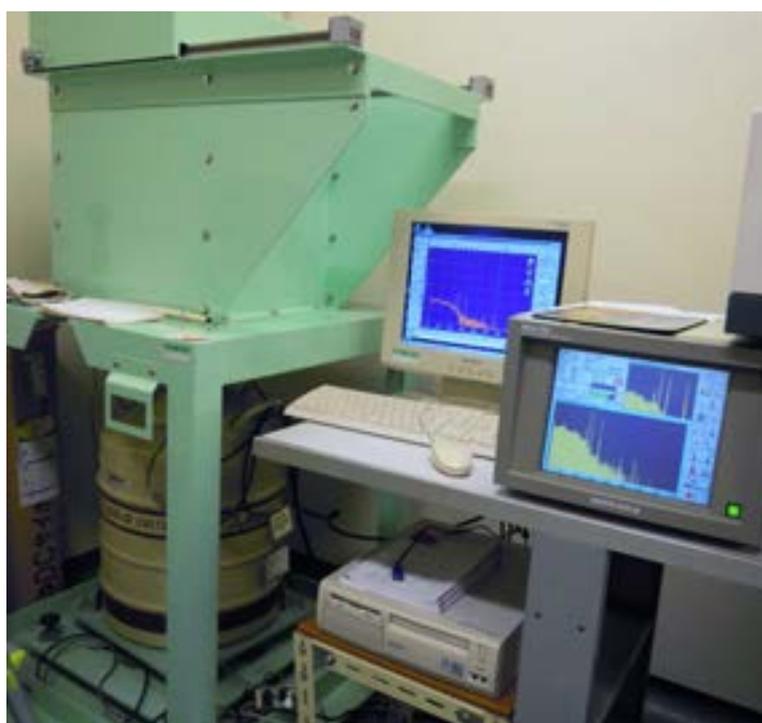


図2 Ge型半導体検出器（GMX-23195）とスペクトロメータ（MCA7700）

はじめに

2011年（平成23年）3月11日（金）に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴って発生した津波によって、東京電力の福島第一原子力発電所で炉心溶融が発生し、放射性物質が放出された¹⁻⁴⁾。

震災後、5年間我々が調査を行っている福島県双葉郡広野町は、福島第一原子力発電所より南に約20km離れた浜通り地区にあたり、2011年（平成23年）の事故当時、町全域が緊急時避難準備区域に指定され、全町民が避難をした地域である。

この広野町内でダストサンプラーを用いて、空気中の浮遊塵を収集し、フィルタに吸着した塵をGe型半導体検出器で測定し、放射性物質の各種の同定、量を算出した。またその放射性物質を住民が吸い込み体内に取り込んだ場合、どの程度の内部被ばくになるのかを算出したので報告する。

方法

エアサンプラーにて空気中の粒子を集塵し、フィルタでろ過捕集を行った。集塵の場所は、電源設備、防雨等を考慮し、広野町役場玄関前にて地表面より100cmで行った。収集は2012年3月16日12:50~17:00（250分間）および2014年8月28

日13:00~17:10（250分間）、流量は700L/分で行った（図1）。

ダストを収集したフィルタをビニール袋に入れ、後日、Ge型半導体検出器を使用し測定を行い、放射性核種の同定、およびその量を解析した。（図2）

使用機器

エアサンプラー：柴田科学器機工業株式会社
HVC-500

ろ材：東京ダイレックス株式会社 Model T60A20
フッ化樹脂処理ガラス繊維フィルタ（ファイバーフィルム）で、捕集効率は0.3 μ mの粒子に対して96.4%の捕集効率である。

Ge半導体検出器：GMX-23195

解析装置：ガンマスタジオ SEIKO EG & GMCA
7700

Ge半導体検出器の校正は、「放射能標準ガンマ体積線源」（日本アイソトープ協会製、MX033U8PP）を用いて、2011年12月にエネルギー校正、効率校正を行っている。

測定条件は、測定時間86,400秒（リアルタイム）、ピークサーチ方法：平滑化2次微分法ピークサーチ、

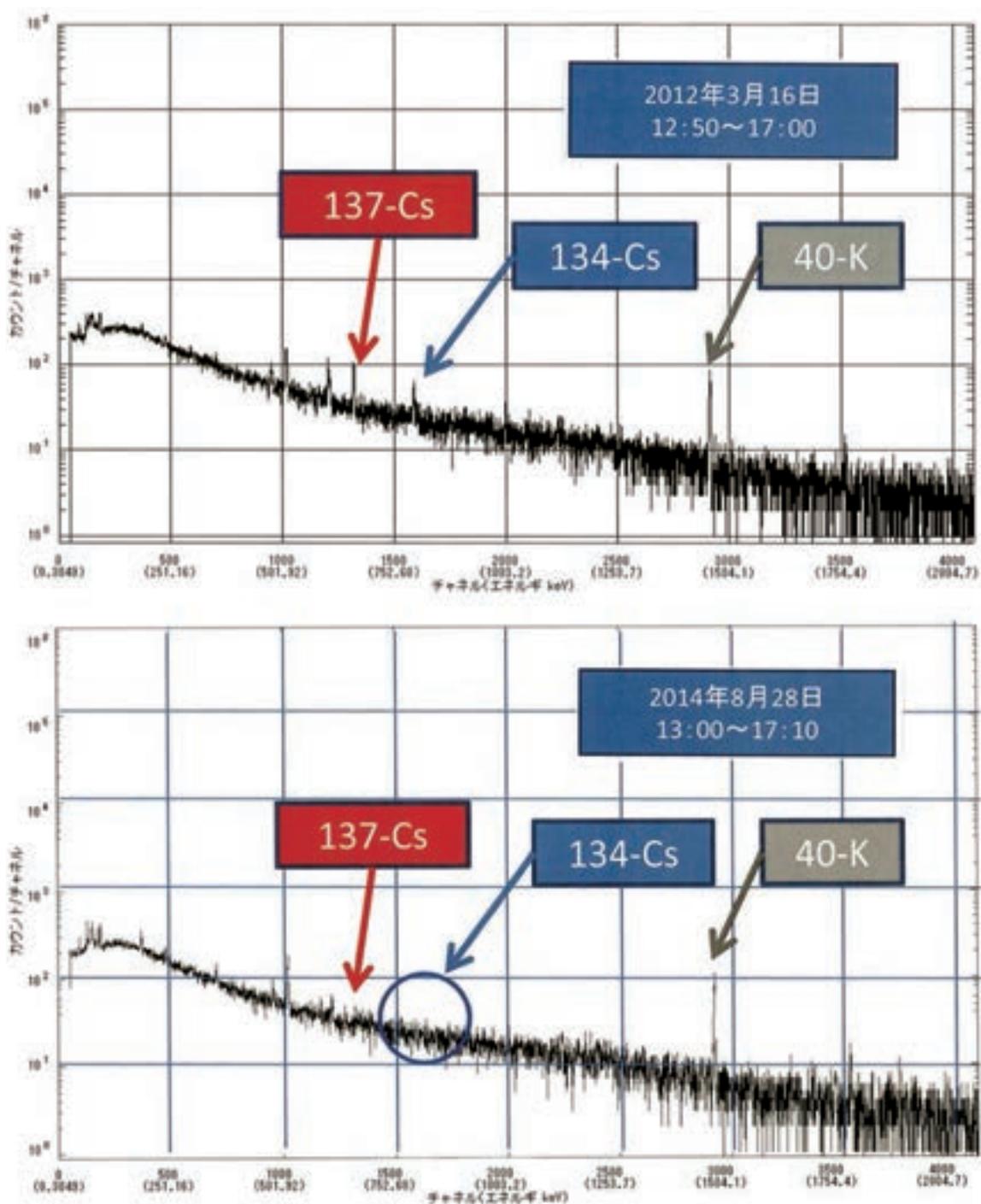


図3 エアサンプラーにより捕集された放射性物質のエネルギースペクトル

ピーク中心計算方法：2次微係数の3点放物近似法を用いた⁵⁾。

結果

1. エアサンプラーにより捕集された放射性物質の同定
 原発事故1年後である2012年3月16日および事故後、約3年6カ月後の2014年8月28日の結果を示す。

エネルギースペクトルの結果より、2012年3月の時点では ^{137}Cs および ^{134}Cs のエネルギーピークが確認できたが、2014年8月ではそのピークが確認できない。(図3)

これらの結果より解析した結果、それぞれ空気中に含まれる放射性物質量を算出すると、2012年3月時点で、 ^{134}Cs は $9.26 \times 10^{-7} \text{ Bq/l}$ 、 ^{137}Cs は1.39

$\times 10^{-7}$ Bq/l, 40-K は 2.42×10^{-5} Bq/l であった。

2014年8月時点では, 134-Cs, 137-Cs はともに検出限界以下 (3×10^{-7} Bq/l), 40-K は 2.50×10^{-5} Bq/l であった。(表1)

表1 空気中に含まれる放射性物質質量

	134-Cs	137-Cs	40-K
2012/03/16	9.26×10^{-7}	1.39×10^{-6}	2.42×10^{-5}
2014/08/28	LTD	LTD	2.50×10^{-5}

測定時間: 86,400[秒](24時間)
検出限界: 3×10^{-7} (Bq) [Bq/l]

2. 体内に取り込まれる放射性物質質量

1. 空気中の浮遊塵の結果より, 2012年3月時点で体内に取り込まれた放射性物質によって内部被ばく線量を算出する。

134-Cs :

$1\text{m}^3 = 1,000$ リットルであるから

$$9.26 \times 10^{-7} \text{ Bq/l} = 9.26 \times 10^{-4} \text{ Bq/m}^3$$

文献⁶⁾より, 実効線量係数は大人(17歳以上)は0.020,

文献⁷⁾より, 1時間当たりの呼吸率を $1.50 \text{ m}^3/\text{h}$ とすると

$$9.26 \times 10^{-4} \text{ Bq/m}^3 \times 1.5 \text{ m}^3/\text{h} \times 1 \text{ h} \times 0.020 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} = 2.78 \times 10^{-5} \text{ } \mu\text{Sv}$$

つまり1時間, この空気を吸った場合

$$\underline{2.78 \times 10^{-5} \text{ } \mu\text{Sv}}$$
 の内部被ばく線量となる。

137-Cs :

134-Cs と同様の算出方法で137-Cs を算出すると, $1.39 \times 10^{-6} \text{ Bq/l} = 1.39 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$

134-Cs と同様, 文献⁶⁾より, 実効線量係数は大人(17歳以上)で0.039

文献⁷⁾より, 1時間当たりの呼吸率を $1.50 \text{ m}^3/\text{h}$ とすると

$$1.39 \times 10^{-3} \text{ Bq/m}^3 \times 1.50 \text{ m}^3/\text{h} \times 1 \text{ h} \times 0.039 \text{ } \mu\text{Sv/Bq} = 8.13 \times 10^{-5} \text{ } \mu\text{Sv}$$

つまり 1時間, この空気を吸った場合

$$\underline{8.13 \times 10^{-5} \text{ } \mu\text{Sv}}$$
 の被ばく線量となる。

134-Cs, 137-Cs による内部被ばく :

134-Cs と137-Cs の空気中浮遊塵による被ばく線量(2012年3月時点)を合算すると,

1時間当たり

$$2.78 \times 10^{-5} \text{ } \mu\text{Sv/h} + 8.13 \times 10^{-5} \text{ } \mu\text{Sv/h} = 1.09 \times 10^{-4} \text{ } \mu\text{Sv/h}$$

1年間の被ばく線量は

$$1.09 \times 10^{-4} \text{ } \mu\text{Sv/h} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ 日/年} = \underline{0.95 \text{ } \mu\text{Sv/年}}$$

となり, 2012年3月(事故後1年)の時点における放射性浮遊塵による内部被ばくは $0.95 \text{ } \mu\text{Sv/年}$ となった。

同様に, 2014年以降は, 検出限界(LTD)となりこれ以下の線量であった。

考察

人体が放射線にさらされることを被ばくという。被ばくにも次の二つに分類される。体の外部に放射線源がありその放射線によって被ばくする外部被ばくと, 経口摂取や吸引によって体内に放射性物質を取り込み, その放射線によって被ばくをする内部被ばくである。今回, 本研究で扱った空気中浮遊塵中にあった放射性物質によっての被ばくは後者である内部被ばくになる。

ただ, 住民の被ばくを考えた場合, 当然, 内部被ばくと, 外部被ばくの両者を考慮しなければならない。また内部被ばくも浮遊塵だけでなく, 食物や水なども考慮せねばならない。これらすべてを合算し, 一般人の被ばく線量は年間で 1 mSv 以下に規定されている。

外部被ばくはガラス線量計など, 個人被ばく線量計を装着しその線量を測定する。内部被ばくは, 今回我々が示したような算出方法とホールボディ

カウンターによって、体内中の放射性物質量を測定する方法がある⁸⁾。

現在までに報告されている論文を基に、福島の住民の外部被ばく、内部被ばくについてそれぞれ考察してみたい。

福島住民の外部線量

福島住民の外部線量を示す論文として、以下のものが注目されている。地元福島県内の高校生たちが中心になってまとめられた研究論文という点でも注目されている⁹⁾。

他県や外国のそれぞれの住民が受ける外部被ばく線量について比較検討されている。論文の内容は、1時間ごとに積算線量を把握できる線量計「Dシヤトル」を活用し、福島高校を含め県内の6校と横浜、神戸両市などの6校に加え、フランス、ポーランド、ベラルーシの14校の生徒と教諭に協力を得て、線量の比較、分析を試みている。参加者は2週間、線量計を身に付け、行動記録も提出している。解析の結果、外部被ばく線量は福島県もほかの地域でもほぼ差はなく、年換算で1mSv程度であることが分かった。福島県内の各校においては、放射性セシウムによる影響は多少あるものの、土壤に含まれる自然放射線量（いわゆるバックグラウンド）が、もともと福島は低い地域であるため、結果的に他の地域と線量がほとんど変わらない。

福島住民の内部線量

原発事故により、大気中に特に大量に放出された放射性物質は、本研究解析結果からもでている^{134-Cs, 137-Cs}ならびに^{131-I}である。ただ^{131-I}については、事故後初期の放出による甲状腺被ばくが心配されたが、その線量は「甲状腺がんが増える可能性がある」とされている数値を下回り、健康上問題となるものではないことが試算されている¹⁰⁻¹²⁾。

また、^{131-I}の半減期（放射能が半分減少する時間）は8日で、事故後5年あまりを経過した現在は、すでに環境中からは消失している。また甲状腺がんの発生頻度の現状としては、2011年10月より福島県立医大が中心となって事故当時福島県内に住んでいた18歳以下の子供たち300,479名の

超音波による甲状腺スクリーニング検査を実施しており、そのうち穿刺吸引細胞診で悪性またはその疑いと診断された者が2名と報告されている¹³⁾。しかし放射線被ばくに起因する可能性は低く、超音波技術の向上によって発見された可能性が高いと結論付けられている。

一方、^{134-Cs}と^{137-Cs}の半減期は、それぞれ2.0652年と30.1年である。

内部被ばくは、食品に含まれている放射性物質を摂取するか、あるいは大気中の放射性物質を吸入することによって起こる。本研究の結果からもわかるように、空気中浮遊塵中の放射性物質は、現在検出できない程度に減少している。食品からの摂取では、市販されているさまざまな食品は、引き続き厳しく規制されている。現在、福島県内で生産されているコメなどを中心としたほとんどすべての農産物の放射性物質測定が行われている¹⁴⁻¹⁵⁾。

また、別の検査として、食べる分のほかにもうひとつ余分に同じ食事を作り、食事に含まれる放射線量を測定する「陰膳方式」で測定が行われている。この手法で、福島県を含め全国100の家庭の放射性物質測定を行ったところ、放射性セシウムは、93の家庭ではまったく検出されず¹⁶⁾、残りの7家庭でも、^{137-Cs}は最大値2.4 Bq/kg、^{134-Cs}が1.3 Bq/kgであった。これらの状況をみても、内部被ばくによる健康への影響は極めて少ないと考えられる。

本研究結果ならびに他の先行論文の結果も踏まえて、福島住民の被ばくは内部被ばく、外部被ばくの合算で評価しても、年間の被ばく線量は1mSv以下になることが示唆される。

結論

原発より南に20km離れた福島県双葉郡広野町において、震災後1年目の2012年3月および3年後の2014年8月の空気中浮遊塵を収集し、その中に含まれる放射性物質は2012年3月時点では^{134-Cs}が 9.26×10^{-7} Bq/l、^{137-Cs}が 1.39×10^{-6} Bq/l含まれていた。

この空気を吸った場合の内部被ばくを算出する

と0.95 $\mu\text{Sv}/\text{年}$ 、2014年8月ではこれら放射性セシウムは検出限界以下の値となった。

謝辞

本研究を実施するにあたり福島県双葉郡広野町長 遠藤 智 様、広野町役場放射線対策課の職員の皆さまにはお世話になりました。ここに厚く御礼申し上げます。

文献

1. 東日本大震災について 被害状況と警察措置” (プレスリリース), 警察庁, (2016年1月8日) 2016年1月8日閲覧
<http://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/index.htm>
2. 経済産業省報道発表
<http://www.meti.go.jp/press/index.html>
3. 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の被害状況及び対応について(第17報)(PDF). 厚生労働省(2011年3月16日). 2015年3月12日閲覧.
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000015344-img/2r98520000015351.pdf>
4. 全国の避難者等の数(所在都道府県別・所在施設別の数)(PDF). 復興庁(2015年12月25日). 2016年1月8日閲覧.
<http://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat2/sub-cat2-1/hinanshasuu.html>
5. 新井正一, 土居亮介. 福島県内のイネの放射性物質の分布状況と土壌からの移行率. 純真学園大学雑誌 3. 111-118. 2013
6. 日本保健物理学会. 専門家が答える暮らしの放射線 Q & A, 朝日出版, 東京, pp72-76, 2013.
7. ICRP Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4 Inhalation Dose Coefficients, ICRP Publication 71. Annals of the ICRP 25 (3-4), 1995
8. 第10回コメント「内部被ばくとホールボディカウンター」
http://www.kantei.go.jp/saigai/senmonka_g10.html
9. N Adachi, V Adamovitch, Y Adjovi, et al. Measurement and comparison of individual external doses of high-school students living in Japan, France, Poland and Belarus – the ‘D-shuttle’ project – J. Radiol. Prot. (36) 49-66. 2016
10. 平成24年度原子力災害影響調査等事業(事故初期のヨウ素等短半減期による内部被ばくの線量評価調査)
http://www.cms.pref.fukushima.jp/pcp_portal/PortalServlet?DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENTS_ID=24809
11. Hayano RS et al “Internal radiocesium contamination of adults and children in Fukushima 7 to 20 months after the Fukushima NPP accident as measured by extensive whole-body-counter surveys” Proceedings of the Japan Academy Series B 89 (2013) 157-163
https://www.jstage.jst.go.jp/article/pjab/89/4/89_PJA8904-B-01/_article
12. 福島県住民ホールボディカウンター測定の線量評価の方針について(福島県保健福祉部, 独立行政法人放射線医学総合研究所, 独立行政法人日本原子力研究開発機構)
http://www.cms.pref.fukushima.jp/pcp_portal/PortalServlet?DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENTS_ID=26104
13. S. Suzuki. Childhood and Adolescent Thyroid Cancer in Fukushima after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: 5 Years On. *Clinical Oncology* (28) 263-271 2016
14. 米の全量全袋検査(福島県)
http://www.cms.pref.fukushima.jp/pcp_portal/PortalServlet?DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENTS_ID=31330
15. ふくしまの恵み安全対策協議会
<https://fukumegu.org/ok/kome/>
16. 実際の食事に含まれる放射性物質測定調査結果(コープふくしま)
<http://www.fukushima.coop/kagezen/2012.html>
http://www.fukushima.coop/kagezen/2012_02.html