

Nuclear Free Now Global Conference
Tokyo, Japan, December 14, 2012

A PROBLEM OF LOW DOSE EFFECTS:

低線量被ばくの問題

The Inadequacy of the Official Concept of Radiation Safety

公的な放射線安全概念の不正確さ

Alexey Yablokov

アレクセイ・ヤブロコフ

Russian Academy of Science, Moscow

ロシア科学アカデミー、モスクワ

(yablokov@voxnet.ru)

The existing system of radiation safety is based on the concept of “effective dose”.

放射線安全に関する現在の制度は「実効線量」概念に基づいている。

The national standards of radiation safety are based on recommendations of United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) and International Commission on Radiological Protection (ICRP).

国家の放射線安全基準は原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (UNSCEAR) と国際放射線防護委員会 (ICRP) の勧告に基づく。

They established that an acceptable level of irradiation

(that results in less than one additional death per one million of people per year)

is the effective equivalent dose of **1 mSv/ person / year.**

これらの組織は許容できる放射線レベル (1年間に100万人に1人の追加的死亡) を **1 mSv/人/年**としている。

1 Joule/kg = 1 Grey (Gy) = 100 Roentgens (R) = 1 Sievert (Sv); 1 Sv = 100 milli Sv (mSv) = 10000 micro Sv (μSv)

The dose concept underlying radiation safety is based on several assumptions that may not always be met:

放射線安全の基本的な線量の概念は必ずしも満たされない、いくつかの前提に依存している：

1. Individual effective dose is **sum of internal and external irradiation** from all radionuclides;

1 . 個人の実効線量は全ての放射線核種から生じる**内部被ばくと外部被ばく**の合計である。

2. The level of external irradiation can be calculated through time in an ionized environment, and internal irradiation through **the amount of radionuclides that enter the body** with water, air, and food;

2 . 外部被ばくレベルは、電離した環境において時間の経過により計算される。内部被ばくは水、空気、食べ物を通じて**体に入る放射線核種の量**を通じて計算される。

3. The impact of each radionuclide is **constant** in time and space;

3 . それぞれの放射線核種の影響は時間と空間において**一定**である。

4. The biological effectiveness of X-ray and all γ - and β -emitters are “1”, slow neutrons are “3”, and α -emitters and superfast neutrons are “20”;

4 . X線、すべての放射体と β 放射体の生物学的効果は「1」、低速中性子は「3」、放射体と超高速中性子は「20」

5. There is a range of relative radiosensitivity of organs from 0.2 for gonads to 0.001 for skin;
- 5 . 臓器の相対的な放射線感受性：性腺の 0.2 から皮膚の 0.001 まで
6. A homogenous phantom with the average body of a **healthy white male 20 years old** and 70 kg (“conditional persons”) allows **for modelling** the impact of radiation on a human being;
- 6 . 20 歳 70 kg の健康な白人男性の平均的な体の均質のファントム（「仮定の人」）が人体への放射線影響のモデリングを認める。
7. The higher the radiation **dose**, the higher the biological **effect**;
- 7 . 放射線量が高いほど、生物学的影響が高くなる。
8. Most studies of low irradiation only consider **cancer** diseases and some genetic disorders but these are difficult to study because they occur in just a few out of millions of people.
- 8 . 大部分の低線量被ばくに関する研究が、ガン疾病およびいくつかの遺伝子の疾患のみを考慮に入れているが、これらは数百万人に数人にしか生起せず、研究するのが困難である。

NN 1 – 2 of these positions are unrealistic for calculations, and NN 3 – 8 are incorrect scientifically

**1 ~ 2 番の立場は計算上、非現実的であり、
3 ~ 8 番は科学的に不正確である。**

1. It is not practically possible to sum up the doses from all radionuclides for their multiplicability effects

1 . 全ての放射線核種による放射線量を合計することは、それらが倍増効果をもつため、実際には不可能である。

After Chernobyl not only I-131 and Cs-137 were dose-forming. Barium-140, Cesium-136, Argon-40, Cerium-141, Ruthenium-103, Strontium-89, Zirconium-95, Cerium-144, Ruthenium-106, Cesium-134, and Strontium-90 were in sum **more important for dose effects than Cesium-137** during the first years after catastrophe.

チェルノブイリ後、ヨウ素 131、セシウム 137 のみが線量を形成した。事故後最初の 1 年間では、**セシウム 137 よりも** Barium-140, Cesium-136, Argon-40, Cerium-141, Ruthenium-103, Strontium-89, Zirconium-95, Cerium-144, Ruthenium-106, Cesium-134, Strontium-90 **のほうが線量の影響においては、より重要である。**

Presence of radionuclides from Chernobyl (Bq/kg dry weight) in leaves of three species of plants in Kiev (Ukraine) at the end of July 1986 (Grodzinsky, 1995)

1986 年 7 月末、キエフの 3 種類の植物の葉に存在するチェルノブイリ原発からの放射線核種(Bq/kg dry weight)

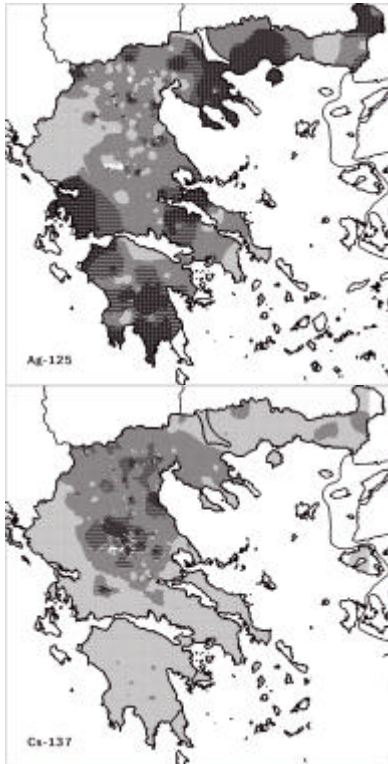
	Horse chestnut トチノキ (<i>Aesculus hippocastanum</i>)	Small leaved lime ライム(<i>Tilia cordata</i>) ()	Scots pine マツ(<i>Pinus silvestris</i>) ()
Pm-144	58 800	146 150	0*

Ce-141	18 000	0*	4100
Ce-144	63 300	0*	18 800
La-140	1100	1930	660
Cs-137	4030	0*	4300
Cs-134	2000	0*	2,100
Ru-103, Rh-103	18 350	36 600	7180
Ru-106	14 600	41 800	5700
Zr-95	35 600	61 050	6500
Nb-95	53 650	94 350	9900
Zn-65	0*	400	0*
Total activity	312 000	399 600	70 300

* - below detection 検出限界以下

Radionuclides composition / activities which could have been released from Fukushima NPP at March 2011 (<http://www.meti.go.jp/press/2011/06/20110606008/20110606008-2.pdf>)
 2011年3月に福島原発から放出されたであろう放射線核種の構成 / 放射能

Radionuclide	Activity, Bq	Radionuclide	Activity, Bq
Xe-133	1.1×10^{19}	Np-239	7.6×10^{13}
I-131	1.6×10^{17}	Ce-141	1.8×10^{13}
Te-132	8.8×10^{16}	Zr-95	1.7×10^{13}
I-133	4.2×10^{16}	I-132	1.3×10^{13}
Cs-134	1.8×10^{16}	Ce-144	1.1×10^{13}
Cs-137	1.5×10^{16}	Pr-143	4.1×10^{12}
Sb-127	6.4×10^{15}	Y-91	3.4×10^{12}
Te-131m	5.0×10^{15}	Nd-147	1.6×10^{12}
Te-129m	3.3×10^{15}	Pu-241	1.2×10^{12}
Ba-140	3.2×10^{15}	Cm-242	1.0×10^{11}
I-135	2.3×10^{15}	Pu-238	1.9×10^{10}
Sr-89	2.0×10^{15}	Ru-103	7.5×10^9
Te-127m	1.1×10^{15}	Mo-99	6.7×10^9
Sr-90	1.4×10^{14}	Pu-239	3.2×10^9
Sb-129	1.4×10^{14}	Pu-240	3.2×10^9



Difference of distribution of Argon-42 and Cesium-137 from Chernobyl' fallout in Greece, 1986 (S. E. Simopoulos data).

チェルノブイリ原発からのArgon-42およびCesium-137の降下物の異なる分布 1986年ギリシャ

After Chernobyl and Fukushima radioactive “*hot particles*” were spread for thousands of kilometers. The particles contained not only γ -emitters (Zr-95, La-140, Ce-144, etc.), but also β -emitters (Ru-103, Ru-106, Ba-140, etc.) and α -emitters (Pu and Am).

チェルノブイリ事故および福島原発事故後、「**ホットパーティクル**」が数千キロにわたって飛んだ。「パーティクル」は 放射体(Zr-95, La-140, Ce-144, etc.)のみならず、 放射体(Ru-103, Ru-106, Ba-140, etc.)と 放射体(Pu and Am)を含む。

Most routine methods of radiation monitoring do not take into account these particles, but their input to human radiation exposure could be significant.

大部分の通常の放射線モニタリング方法では、これらのパーティクルが人体への放射線被ばくに与える影響が重大にも関わらず、それらを考慮に入れない。

2. The level of external radiation exposure **can not be precisely calculated** based only on the time a person was exposed to radiation

2 . 人が放射線にさらされる時間によってのみ、外部被ばくレベルを**正確に測ることは不可能である。**

In any given place an individual dose during a year can be **increased or decreased multiple times** (e.g. differences in the body's position relative to the surface, shielding in homes, etc).

どのような場所であっても、個人の線量は1年のうちでも**何倍も減少したり増大したりする。**(表面に対しての体の位置の違い、建物の遮蔽等)

Data from questionnaire surveys concerning personal behaviour provides a range of one or two orders of magnitude, which makes it **meaningless to calculate average doses.**

個人の行動に関する質問票によるデータは1桁ないし2桁の違いをもたらすので、平均線量を計算することは無意味である。

No single measurement and no series of measurements of exposure are likely to provide an accurate picture of an actual person's external radiation exposure.
実際に人が受けた外部被ばくの実像を物語ることのできそうな特定の、また一連の被ばく測定方法は存在しない。

3. The level of internal radiation exposure can not be precisely calculated based only on the amounts of radionuclides that entered the body with food, water, and air

3 . 食物、水、空気を通じて体に入った放射線核種の量に基づいてのみで、内部被ばくレベルを正確に測ることはできない。

The input of radionuclides associated with internal radiation exposure depends on a person's physical condition, age, gender, and diet. **There is no such thing as an "average" thus leading to considerable variation among individuals.**

内部被ばくに関係する放射線核種の影響は、その人の体の状態、年齢、ジェンダー、食生活に依存する。「平均」というものは存在せず、個人によって顕著な違いをもたらす。

The average biological half-life (i.e. the average time for decorporation of half of the originally absorbed amount of radionuclide) that is recommended by the ICRP for each radionuclide **underestimates radiation impact.**

ICRP が勧告している各々の放射線核種の生物学的半減期は放射線の影響を過小評価している。

Two examples: 2 つの例 :

- the average biological half-life Cs-137 as recommended by the ICRP is 70 days, but for 50 % of people it is higher (up to 124 days);

ICRP が勧告するセシウム 137 の生物学的半減期は 70 日間だが、50 % の人においてはもっと長い (124 日間まで)。

- the average biological half-life of Sr-89 for the whole body is about 40 days, but for the 10 % of this radionuclide that fixes to bones it is about 50 years.

人体全体におけるストロンチウム 89 の生物学的半減期は 40 日間だが、10 % の人において、この核種は約 50 年間骨に留まる。

4.1. The effects of each radionuclide are not homogenous in time and space.

4 . 1 それぞれの放射線核種の影響は時間と空間において均質ではない。

Even at one fixed point the **radiation level may change greatly** within hours, days, weeks, and months.

一箇所の特定の場所であっても、放射線レベルは時間ごと、日ごと、週ごと、月ごとに大きく変動する可能性がある。

As the result of **vertical migration** of radionuclides the **level of radiation at the surface can decline, and rise.**

放射線核種の**垂直移動**の結果、**表面の放射線レベルは下がることも**

上がることもある。

Plant's roots and digging animals may also bring radionuclides from deep soil layers back to the surface and thus change radiation levels.

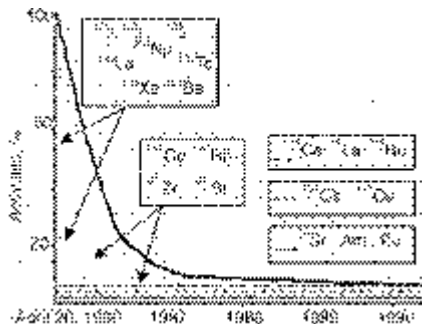
植物の根および土を掘る動物も深い土層にある放射線核種を地表面に戻す役割を果たすことがあり、放射線レベルが変わる。

With ashes of forest fires, migrating animals etc. there can be *horizontal migration* radionuclides for hundreds of kilometers in several hours / days.

森林火災による灰、移動する動物などにより、数時間・数日の間に、放射線核種は何千キロも水平移動することができる。

The natural process of decay can change the level of ionizing radiation in contaminated areas by a thousand times during a year

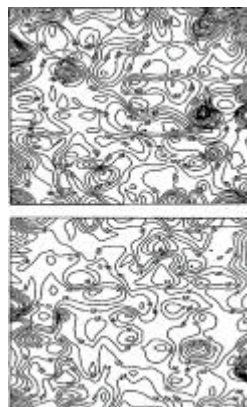
自然崩壊のプロセスにより、汚染地域の電離放射線レベルは年間で何千倍も変わり得る。



Dynamic of total activities (%) of the Chernobyl fallout as a result of decay (Sokolov and Krivolutsky, 1998)

チェルノブイリ降下物の崩壊の結果による全ての放射能 (%) の動態

Radionuclides are heterogeneously dispersed in soils
土壌中に不均一に分布する放射線核種



Heterogenous pattern of concentrations (Ci/km²) of **Cs-137** (top) and **Ce-144** (bottom) in the forests of the Chernobyl zone (Scheglov, 1999).

チェルノブイリゾーンにおける森林中の**Cs-137** (上) および **Ce-144** (下) の異なる分布パターン

Conclusion (1) :

Any attempt estimate average doses would be misleading compared to the actual radiation exposure of real people.

結論 (1) :

現実の人への実際の放射線被ばくと比べて、平均的な線量を予測するすべての試みは誤解を招く恐れがある。

5. Biological effectiveness of each radionuclide within groups of a-, b-, and g-emitters is specific.

5 . a-, b-, g-放射体のグループにおけるそれぞれの放射線核種の生物学的効果は固有である。

ICRP / UNSCEAR ' *weighted coefficients* ' ("1" – for X-rays, β -, and γ -emitters and '20" – for α -emitters) are **over-simplistic** and are only reasonable for very few radionuclides.

ICRP および UNSCEAR の「荷重係数」("1" –X 線、 β 放射体、 γ 放射体、'20" – α 放射体)は**単純化しすぎて**おり、ほんのわずかな放射線核種にのみ合理的である。

The biological effectiveness of each radionuclide is determined not only by the number of emerging electrons (in β -decay), γ -quanta (in γ -decay and X-ray), or α -particles (in α -decay), but also by **micro-distribution of energy** transferred by these particles/quanta of energy to cell structures and internal cellular liquids, as well as by the **specific decay chains of each radionuclide**.

各々の放射線核種の生物学的効果は、出現する電子 (β 崩壊)、 γ 量子 (γ 崩壊および X 線)、または α 素粒子 (α 崩壊)の数によってのみ決まるのではなく、これらの素粒子・量子のエネルギーから細胞組織や内部細胞液へ伝わる**エネルギーの微細な分布**や、**各々の放射線核種に特定の崩壊系列**にもよる。

Even identical levels of ionization have different impacts on a cell depending on its stage of development.

同じ電離レベルであっても成長段階によって細胞への影響が異なる。

6. It is an oversimplification to suggest that the relative radiosensitivity of organs and tissues form a deterministic series

6 . 臓器と細胞組織の相対的な放射線感受性が決定的なシリーズを形成すると仮定するのは**単純化し過ぎ**ている。

(i.e. "*weighting coefficient*" for gonads – 0.2; red bone marrow, stomach, intestines, lungs – each 0.12; breasts, liver, throat, bladder, thyroid – each 0.05; skin, upper bone tissue – each 0.01; all other organs – in sum 0.05).

(すなわち、性腺の「荷重係数」は0.2、赤色骨髄、胃、腸、肺は0.12、乳房、肝臓、喉、膀胱、甲状腺は0.05、皮膚、上部骨組織は0.01、その他全ての臓器は0.05)

The main assumptions underlying this tissue weighting coefficient concept are incorrect:

組織ごとの荷重係数の概念に横たわる主たる前提は不正確である。

? The whole **body is not a simple sum of the independent organs** and each organ is not a simple sum of independent cellular structures;

- **体全体は、独立した臓器の単純な合計ではなく、各々の臓器は独立した細胞組織の単純な合計ではない。**

- The biological **effects of internal and external radiation on organs are not identical;**

- **臓器の内部被ばくおよび外部被ばくによる生物学的影響は同質ではない。**

- The biologic **impacts of different radionuclides on each organ are not identical;**

- **異なる放射線各種による臓器への生物学的影響は同質ではない。**

? The **radiosensitivity of each organ and tissue of all people are not identical;**

- **全ての人の各々の臓器および細胞組織の放射線感受性は同質ではない。**

? The radiosensitivity of organs and tissues of animals under lab conditions sometimes differ from radiosensitivity of human organs and tissues;

- **実験室での動物の臓器および細胞組織の放射線感受性は人体の臓器や細胞組織の放射線感受性と異なる場合がある。**

? The radiosensitivity of non-listed organs in the series (e.g. eyes, nose, tongue, upper airways etc) is not negligible.

- **シリーズにおいてリストにない臓器（目、鼻、上気道など）の放射線感受性は見過ごせない。**

7. A homogenous phantom with average body parameters (i.e. a white male 20 years old, 70 kg body weight, a so-called “conditional person”) does not provide an adequate model for radiation impacts on humans.

7. 平均的な体のパラメーター（20歳70kgの白人男性、「仮定の人」）を用いた均質のファントムは、人への放射線影響に関する適切なモデルを与えない。

There is significant **intraspecific variability** (group and individual) of radiosensitivity.

種内（グループ内および個人の中で）の放射線感受性に関する顕著なばらつきがある。

In any population up to 14 – 20 % members are hypo-radiosensitive, and 10 – 20 % - hyper-radiosensitive. The radiosensitivity of hypo- and hyper- groups can differ by several times.

どのような人口集団であっても14-20%のメンバーは放射線感受性が低く、10-20%は高い。低いグループと高いグループの感受性の違いは数倍にも及ぶ。

The **current standards** of radiation safety, developed for a “conditional person” from an “average” population, **cannot efficiently protect** the human population as a whole.

「平均的な」人々の「仮定の人」のために開発された**現在の放射線安全基準**は、人々を全体として効率的に防護することができない。

8. **The linear effect (less effects, higher doses – higher effects) low doses is true only for levels of irradiation above 100 mSv.**

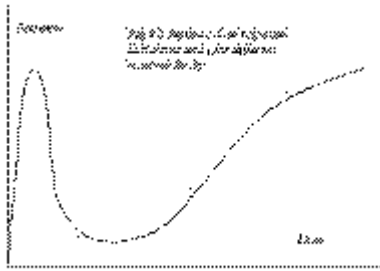
8 . 低線量の直線的影響（高い線量では高い影響）は、100mSv以上の放射線レベルにおいてのみ正しい。

Low doses frequently result in a **supra-linear biphasic effect.**

低線量は、しばしば超線形の2相的影響をもたらす

This has been shown for a variety of cell culture test systems. Also, some epidemiological studies have shown **biphasic (“supra-linear”) responses to low levels of irradiation.**

このことは様々な細胞培養試験制度が明らかにしている。またいくつかの疫学的研究は、低レベル放射線に対して2相的（「超線形」）の反応を明らかにしている。



Biphasic (supra-linear) dose response curve – “Petko - Burlakova – Busby effect”(ECCR, 2010)

2相性的（超線形）線量応答曲線

9. **It is NOT true that low level ionizing radiation results only in cancer diseases and major genetic disorders that are only discovered statistically** (because they only occur in several out of some millions of people exposed to radiation).

9 . 低レベル電離放射線の結果は、統計的に見出されるだけの（被ばくした数百万人のうち数人に起こる）ガン疾病や主要な遺伝子の疾患のみであるというのは、真実ではない。

The list of **consequences of low level chronic radiation** (which could concern thousand of times more people than just a few out of a million as insisted by the ICRP/ UNSCEAR) include at least:

慢性的な低レベル放射線の影響のリストは（ICRP/ UNSCEAR が強調する百万人に数人よりも何千倍も懸念が高い）少なくとも以下を含む：

- **chromosome mutations;** 染色体突然変異
- **disorders of prenatal development (increased number of spontaneous abortions, increase of neonatal, prenatal, and newborn mortality);** 出生前の発達障害（自然流産の増加、胎児死亡率、新生児死亡率の増加）
- **numerous minor development disorders;** 多数の小さな発達障害
- **premature birth;** 早産
- **lower body weight of newborns;** 新生児の体重の少なさ
- **disorders of spermatogenesis;** 精子形成の障害
- **disorders of brain development;** 脳発達の障害
- **changes in endocrine system (including diabetes);** 内分泌系の変化（糖尿病を含む）
- **changes in immune system;** 免疫系の変化

– premature aging; 早期老化
– genetic instability. 遺伝的不安定性

It is not methodologically correct to consider such impacts reversible or insignificant and hence not account for them: all these disorders impact the total life span and active life span.

そのような影響を元に戻せる、あるいは取るに足らないと捉えること、従ってそれらに対して責任を負わないことは方法論的に正しくない。これらの障害はすべて寿命に影響を与える。

Conclusion (2):
The establishment of acceptable (“safe”) levels of anthropogenic radiation
(individual effective equivalent dose of 1 mSv/person/year)
is not based on reliable data.

結論 (2) :
許容できる (「安全な」) 人工の放射線レベル (個人実効線量 1mSv/人/年)
は信頼できるデータに基づいていない。

The ICRP / UNSCEAR models of radiation risk are based on the data of consequences of Hiroshima-Nagasaki nuclear bomb survivors.
ICRP / UNSCEAR の放射線リスクモデルは、広島長崎の原爆生存者のデータに基づいている。

But systematic observations of the survivors started just 4.5 years after 1945. By 1950, many tens of thousands of people had already died (i.e. those who were more radiosensitive in the first place), which led to the paradox that the survivors by some indicators were healthier than those unexposed to radiation (*«healthy survivors» effect*).

しかし、生存者の組織的な調査は 1945 年から 4 年半後によろやく始まった。1950 年までに何万人もの人々がすでに亡くなったために (すなわち初期段階で放射線感受線がより高い人々)、生存者はある指標では、被ばくしていない人々よりも健康であるという逆説を生んだ (「健康な生存者」 効果) 。

Because of such miscalculations and secrecy the resulting **statistical data on the “Japanese cohort” is not reliable.**
そのような計算ミスと隠蔽のために、「日本人コーホート」の統計的データは信頼できない。

The ICRP/UNSCEAR concept of radiation safety was originally developed for the purposes of protecting military forces from nuclear weapons and protection of nuclear personnel.

ICRP/UNSCEAR の放射線安全概念は、元々は核兵器から兵士を保護するため、また原発作業員のために開発されたものである。

The main criterion of radiation safety on the battle field was the ability of men to continue battle for next several hours after a N-explosion.

Radiation protection of nuclear personnel is easier because just a few radionuclides must be controlled in the workplace.

戦場における放射線安全の主な基準は、男性が核兵器爆発後数時間の間戦い続けられる能力である。

原発作業員の放射線防護は、労働現場において数種類の放射線核種を管理すればよいのでさらに簡単である。

Conclusion (3):

The existing dose concept is not efficient for providing radiation safety of the general public from chronic low irradiation from many radionuclides, like those around Chernobyl or Fukushima.

結論 (3) :

チェルノブイリや福島周辺のように多くの放射線核種による低線量の慢性的な被ばくから一般の人々を防護するためには、現在の放射線量の概念は効率的ではない。

Radioactive pollution is some of the least visible, but the most dangerous anthropogenic contamination of the biosphere.

放射能汚染は最も見えにくい汚染のうちの一つだが、生物圏において最も危険な人為的な汚染である。

Final conclusion:

The ICRP/ UNSCEAR model of radiation safety (dose concept) contradicts the growing volume of data concerning measured real negative consequences of chronic low irradiation.

最終的な結論 :

ICRP/ UNSCEAR の放射線安全モデル (放射線量の概念) は、実際に測定されている、慢性的な低線量放射線によるネガティブな結果に関する増え続けているデータと矛盾する。

Nuclear Free Now Global Conference
Tokyo, Japan, December 14, 2012

Thank you for attention!
ご清聴ありがとうございました!

Alexey Yablokov アレクセイ・ヤブロコフ
(yablokov@voxnet.ru)