

Chernobyl accident and subsequent issues related to the forest contamination

Sergey Fesenko

Department of Nuclear Sciences and Applications

International Atomic Energy Agency

s.fesenko@iaea.org



IAEA

International Atomic Energy Agency

Atmospheric release of radionuclides after the Chernobyl and Fukushima accidents (IAEA, 2005; IAEA, 2015), PBq

<i>Atmospheric release, PBq</i>	<i>Chernobyl accident, 1986</i>	<i>Fukushima Daiichi Japan, 2011</i>
^{133}Xe	6500	6000-12000
^{132}Te	~1150	0.76-132
^{131}I	1760	100-400
^{134}Cs	~47	8.3-50
^{137}Cs	~85	7-20
^{89}Sr	~115	$4.3 \cdot 10^{-2} - 13$
^{90}Sr	~10	$3.3 \cdot 10^{-3} - 0.14$
^{241}Pu	~2.6	$3.3 \cdot 10^{-7} - 1.2 \cdot 10^{-3}$

Dominating exposure pathways after the accidents

Chernobyl accident, 1986

External exposure,

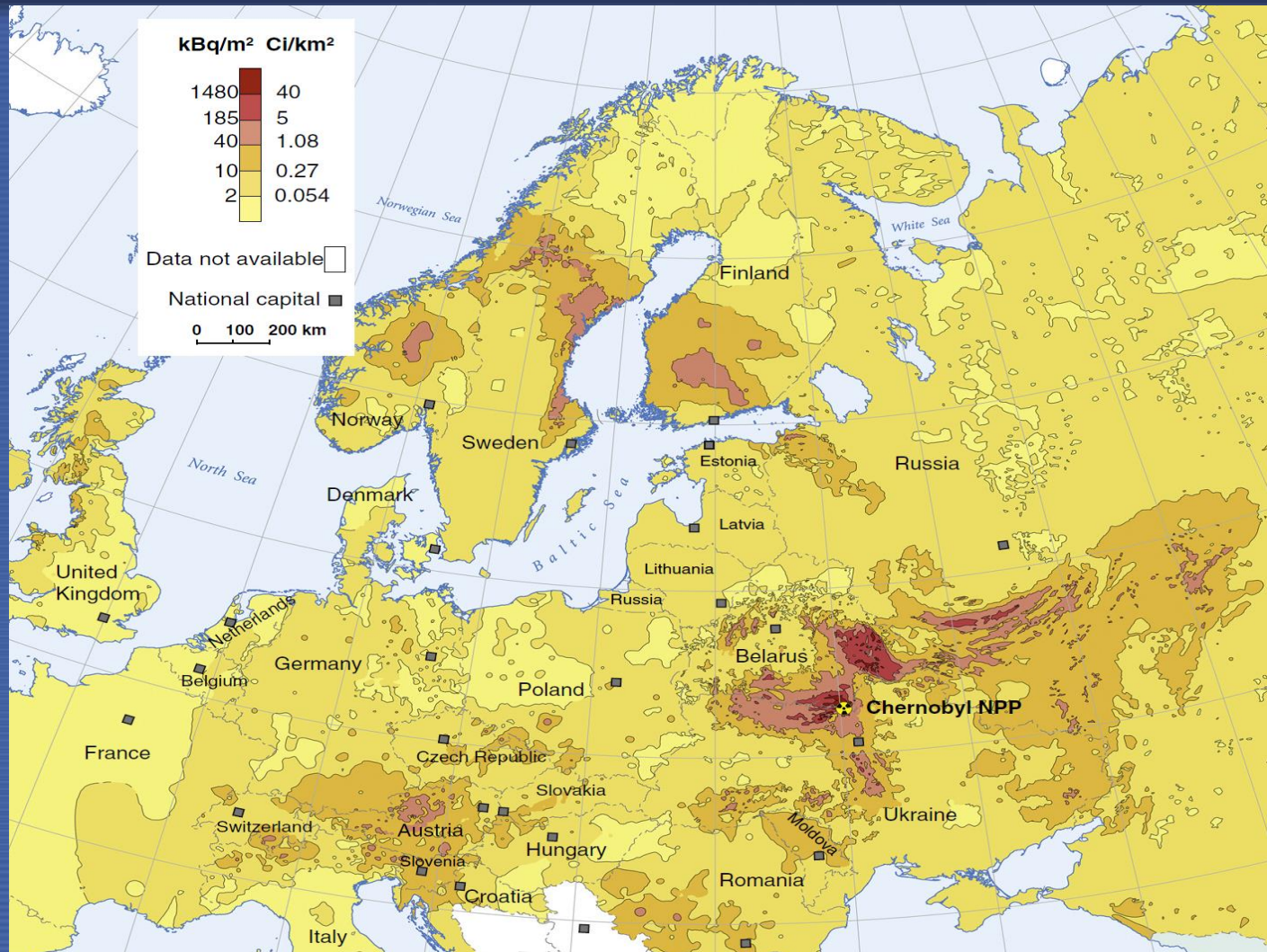
Internal exposure was a prevailing pathway in many places due to consumption of domestic milk, vegetables, meat, forest products, etc.

Fukushima Daiichi Japan, 2011

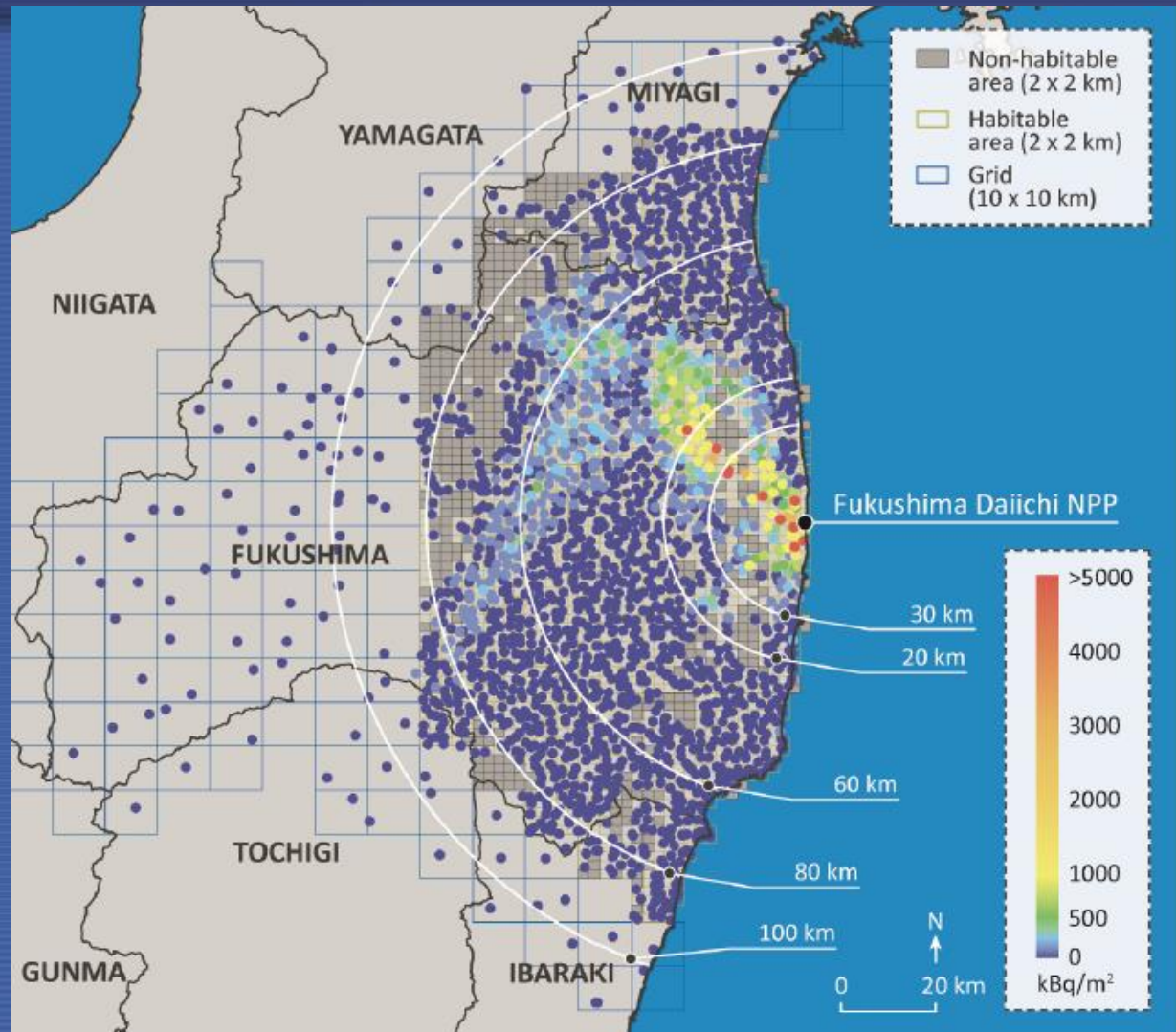
External exposure,

Internal exposure was of a secondary pathway because of restrictions introduced in food supply system

Surface contamination with ^{137}Cs in Europe after the Chernobyl nuclear accident (De Cort et al., 1998)



Surface contamination with ^{137}Cs in Japan after the Fukushima Daiichi accident (IAEA, 2015)



Release patterns (IAEA, 2005; 2015)

Chernobyl accident, 1986

*Fukushima Daiichi Japan,
2011*

*Initial release with the thermal
elevation;
10-day variable releases due to fire,
Variable wind direction;
Complex multi-directional land
deposition (dry and wet);*

*Several initial releases due to
venting and hydrogen
explosions;
Weeks of releases
Variable wind direction;
Dispersion toward the ocean
(east) and land;*

Significance of forest for the public

- ✓ *Forests are extensive natural resources which provide economic, nutritional, recreational and social benefits to people.*
- ✓ *In many areas contaminated after the radiation accidents forests and forest products are an important source of internal and external exposure of the population.*
- ✓ *There are «critical groups» of the population with high exposure levels, mainly, due to consumption of forest products or special behaviour in the forest.*

Significance of forest for the public

- ✓ *Forests areas are used in three main ways which determine the major routes by which people may be exposed to radiation:*
 - ✓ *as a source of industrial products, e.g. timber and associated products;*
 - ✓ *as a source of natural produce, e.g. firewood, mushrooms and berries;*
 - ✓ *for recreational use, e.g. walking and camping.*

Significance of forest for the public (Fesenko et al., 2000)

In the long term after the Chernobyl accidents, the importance of forests in dose forming has increased: the contribution of mushrooms and berries to the internal doses of the population, relative to the doses from agricultural products, varied from 10–15% in 1987 to 40–45% in 1996.

In 1987–1996, the effective half-life of ^{137}Cs in major agricultural products was 1.4–5.6 years. The effective half-lives for ^{137}Cs in mushrooms and berries are much longer, i.e. 20 and 10 years, respectively.

Basic definitions used for assessment of radionuclides in the forest

- T_{ag} – the aggregated transfer factor ; T_{ag} is the mass activity density (Bq kg^{-1}) in a specified object per unit area activity density, A_a (Bq m^{-2}) in the soil. $\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$
- F_v – the concentration ratio F_v is the ratio of the activity concentration of radionuclide in the plant ($\text{Bq kg}^{-1} \text{ dm}$) to that in the soil ($\text{Bq kg}^{-1} \text{ dm}$), dimensionless
- The biological half-life $T_{1/2}^b$, is a measure of the rate at which radionuclides are excreted from an organism. The time required for a twofold decrease of the radionuclide activity concentration in a given organ (or tissues) because of action of all possible factors, excepting radioactive decay
- The ecological half-life, $T_{1/2}^e$, - the time required for a twofold decrease of the radionuclide activity concentration in a given an integral parameter that lumps all processes (except radioactive decay) which cause a reduction of activity in a specific medium.

Key elements in the assessment of the contaminated forest

- *Environmental monitoring*
- *Exposure pathways analysis*
- *Assessment of the factors governing behaviour of radionuclides*
- *Assessment of the preferences given by the population to different remedial options*
- *Simulation of the application of different remedial options*

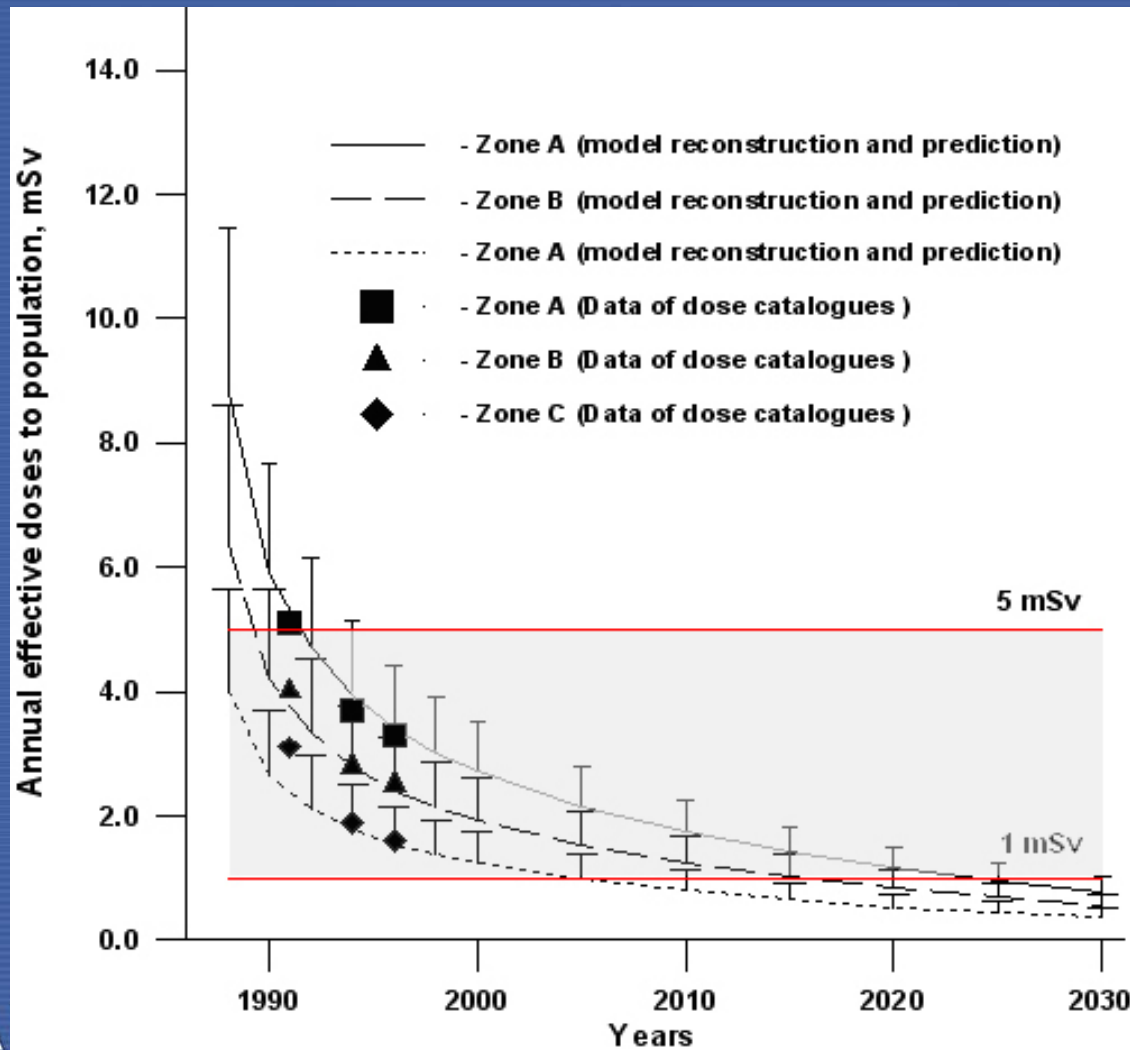
Example of the area where the forest was affected by the Chernobyl accident: Novozybkov areas of the Bryansk region, Russia

- Location: 180 km northeast of the Chernobyl NPP.
- Contamination of the forest soils: in a range from 150 to 2500 kBq m⁻².
- Total population: about 60000 persons living in 111 settlements.

The data obtained for the study area were merged within zones with different levels of contamination and, consequently, with different demands in remediation:

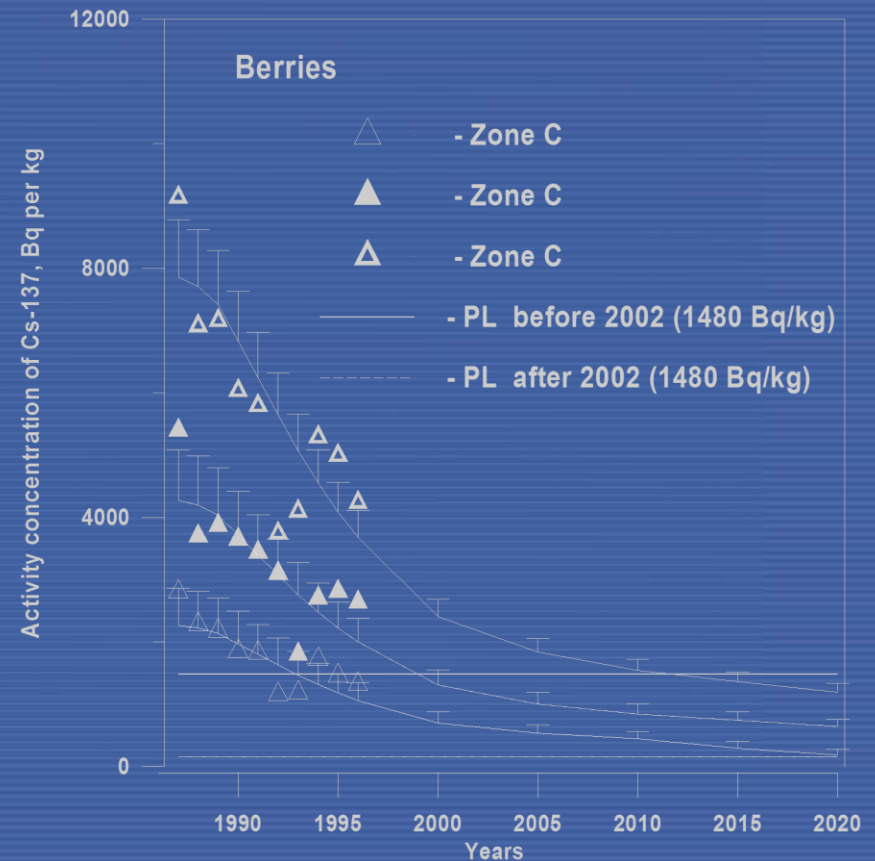
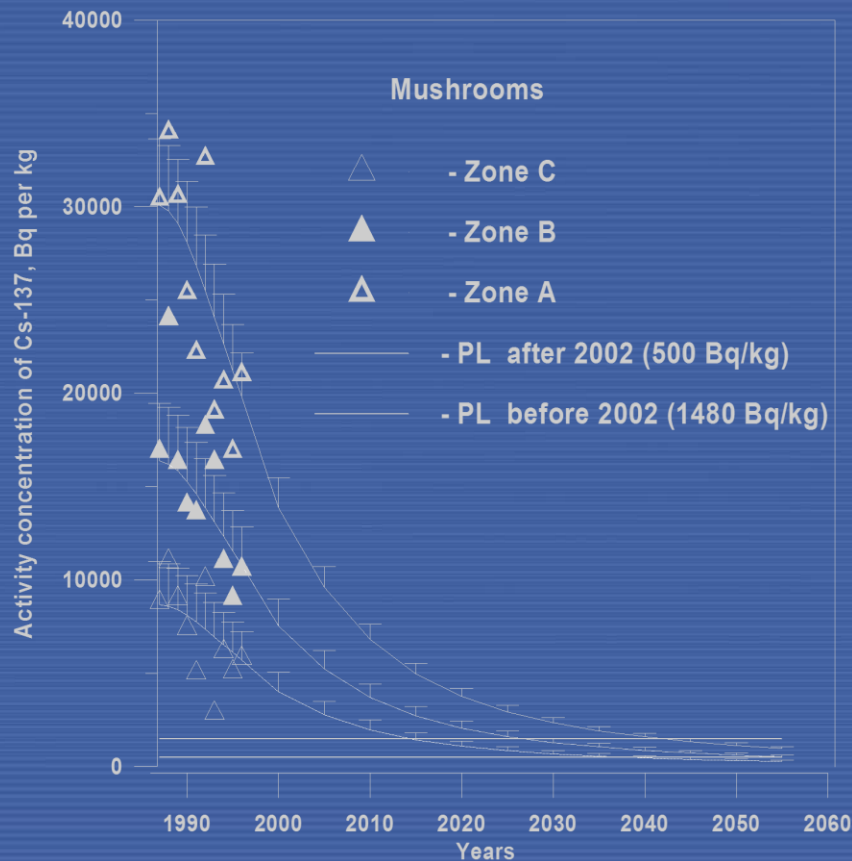
- *above 1480 kBq m⁻² - zone A,*
- *between 555 and 1480 kBq m⁻² - zone B and*
- *between 185 and 555 kBq m⁻² - zone C.*

Variation with time of average effective doses to the population of the study area (Fesenko, et al, 2000)

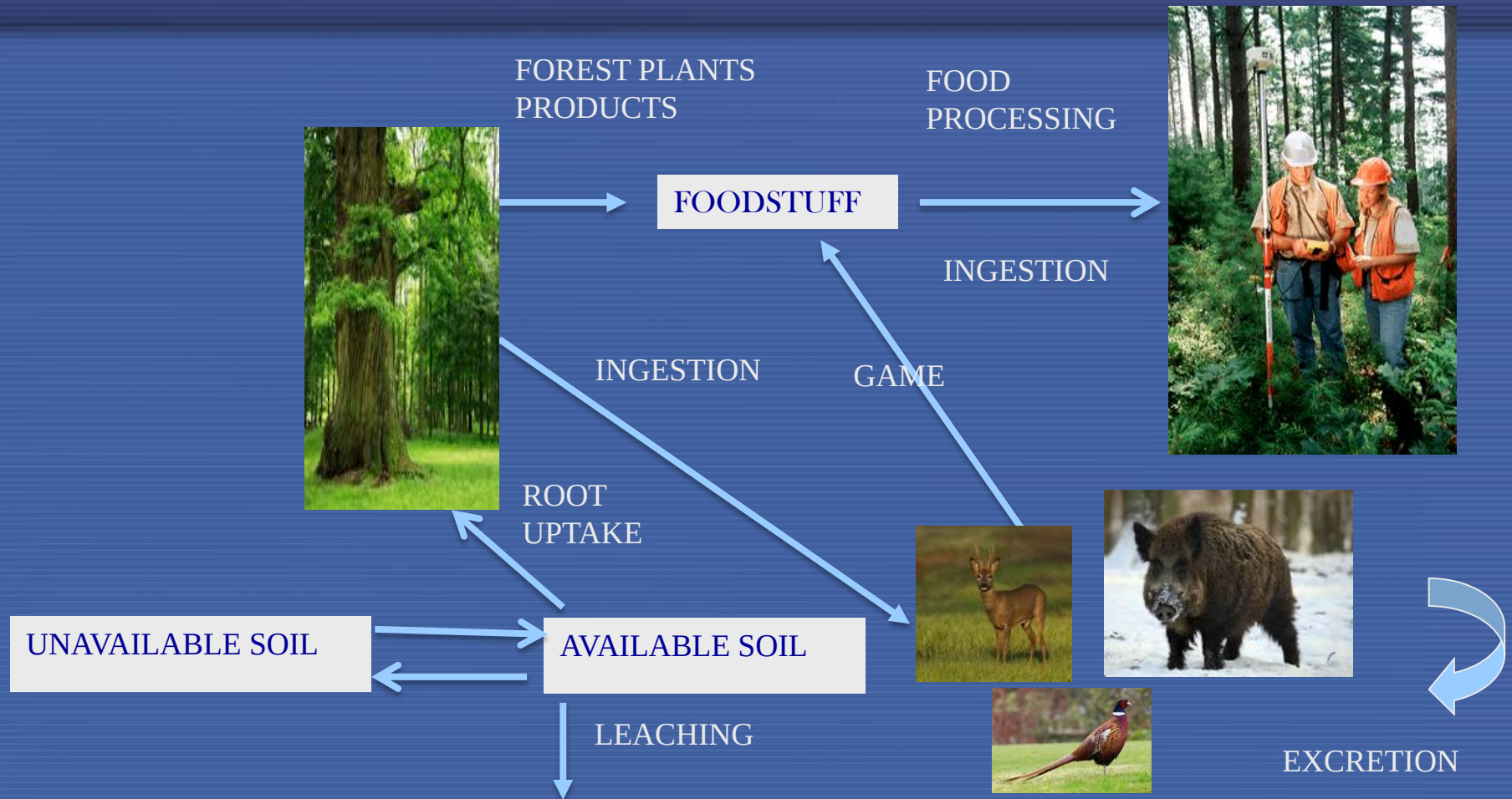


Time dependent activity concentrations of ^{137}Cs in mushrooms and berries (average measured values and results of calculations)

(Fesenko et al., 2000)



Environmental pathways and processes



*Contributions of different pathways to the total exposures of population in the forest settlements of Bryansk region, %
15 years after the accident*

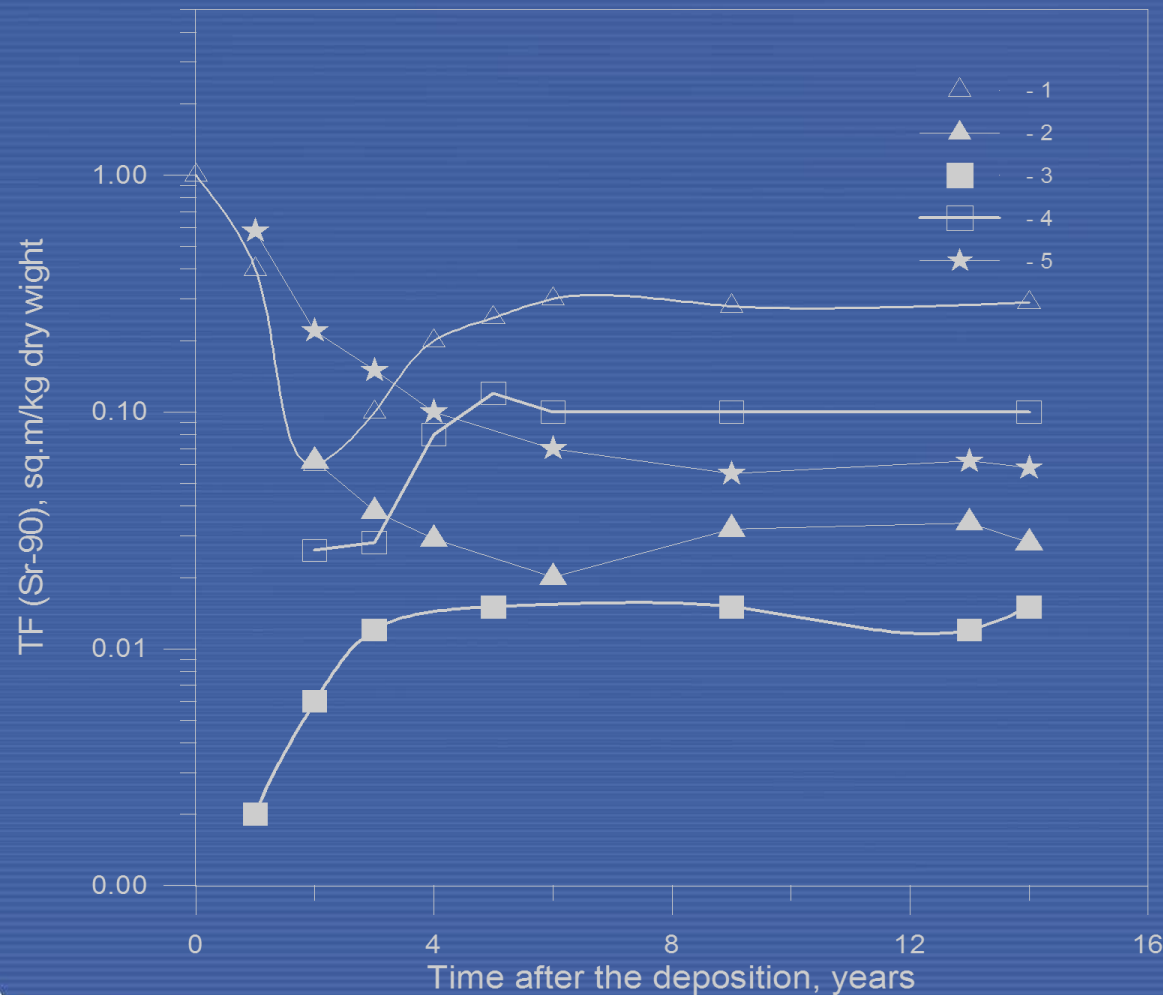
<i>Exposure Pathways</i>	<i>Normal population</i>	<i>Critical group</i>
<i>External dose within the forest</i>	<i>3</i>	<i>18</i>
<i>External dose within the settlement</i>	<i>41</i>	<i>11</i>
<i>Internal dose from milk and meat consumption</i>	<i>33</i>	<i>58</i>
<i>Internal dose from berries consumption</i>	<i>2</i>	<i>1</i>
<i>Internal dose from mushrooms consumption</i>	<i>19</i>	<i>11</i>
<i>Internal dose from the other products consumption</i>	<i>2</i>	<i>1</i>
<i>Contribution of forest pathways to the total dose</i>	<i>24</i>	<i>88</i>



Interception of radionuclides by forest vegetation

- *Type of deposition: wet and dry; size of radioactive particles*
- *Seasonality effects*
 - *Biomass of forest compartments (most important for deciduous plants)*
 - *Availability of different feeds for game*
- *Forest characteristics:*
 - *Type of trees*
 - *Biomass*
 - *Age of trees*

Dynamics of ^{90}Sr activity concentrations in different components of birch forest after the Kyshtym accident (Tichomirov - Alexakhin, 1977)



- 1 - leaves
- 2 - branches
- 3 - wood
- 4 - internal bark
- 5 - external bark

Accumulation of radionuclides by plants and mushrooms

- *Roots (mycelium) location relative to the contamination profile.*
- *^{137}Cs accumulation capacity of the plants (or mushrooms).*
- *Radionuclides distribution over the profile of the soil and litter.*
- *Type of soil, in particular, water regime.*
- *Type of nutritious substrate (wood, litter, soil, etc.).*
- *Type of the forest.*

*Average transfer factors for different species of mushrooms,
(Bq kg⁻¹/kBq m⁻²)*

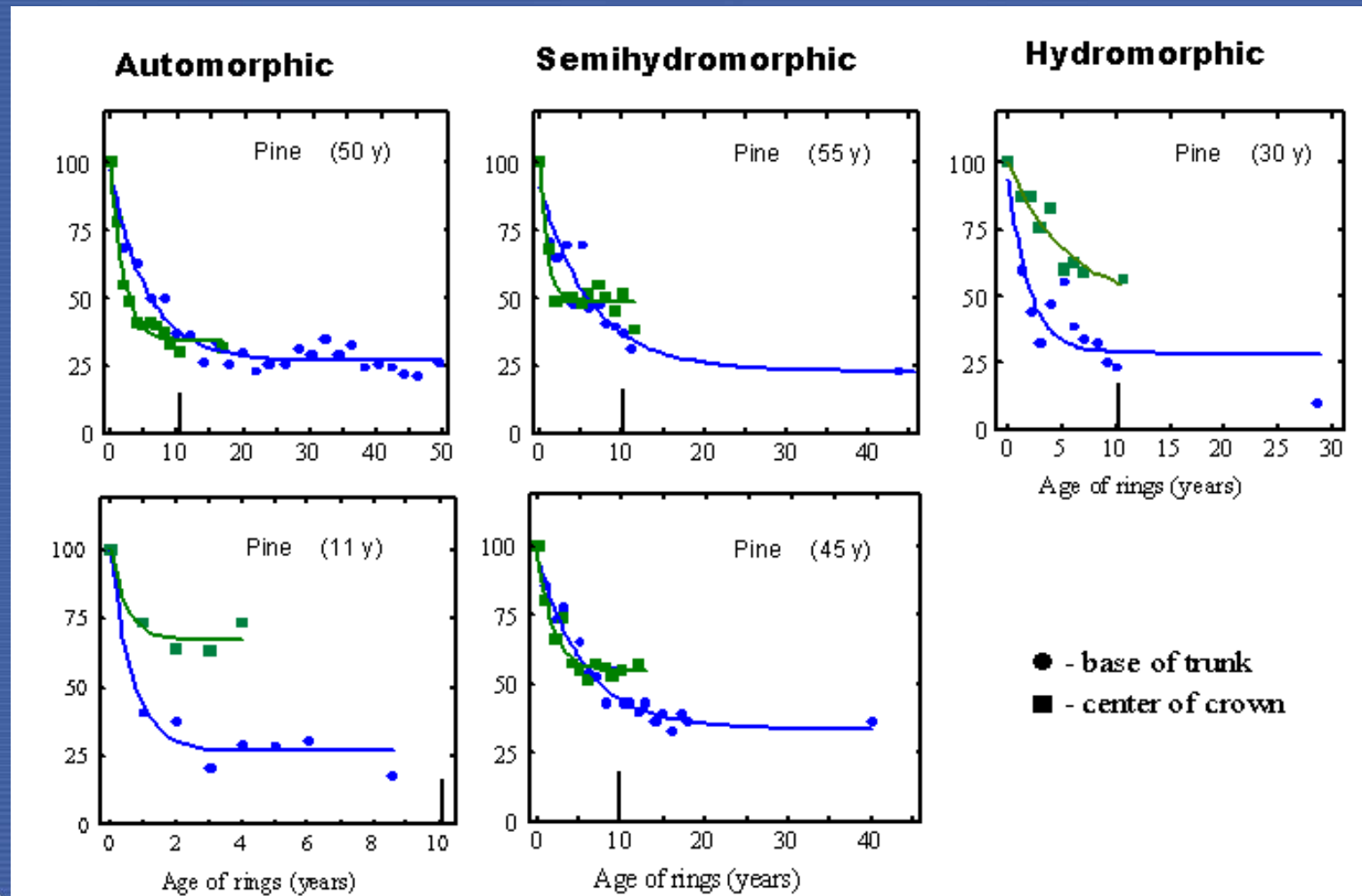
Species of mushrooms	1986-1994, Russia	1989-1990, Belarus
<i>Boletus edulis</i>	7.3	7.8
<i>Cantarellus cibarius</i>	6.2	8.6
<i>Xerocomus Badius</i>	89.6	110.6
<i>Russula</i>	10.0	28.3
<i>Suillus luteus</i>	32.0	98.3
<i>Armillaria mellea</i>	16.0	7.4
<i>Leccinum scabrum</i>	15.0	46.4

*Average transfer factors to berries, Bq. kg⁻¹/kBq m⁻²
(Pathway analysis...,1996)*

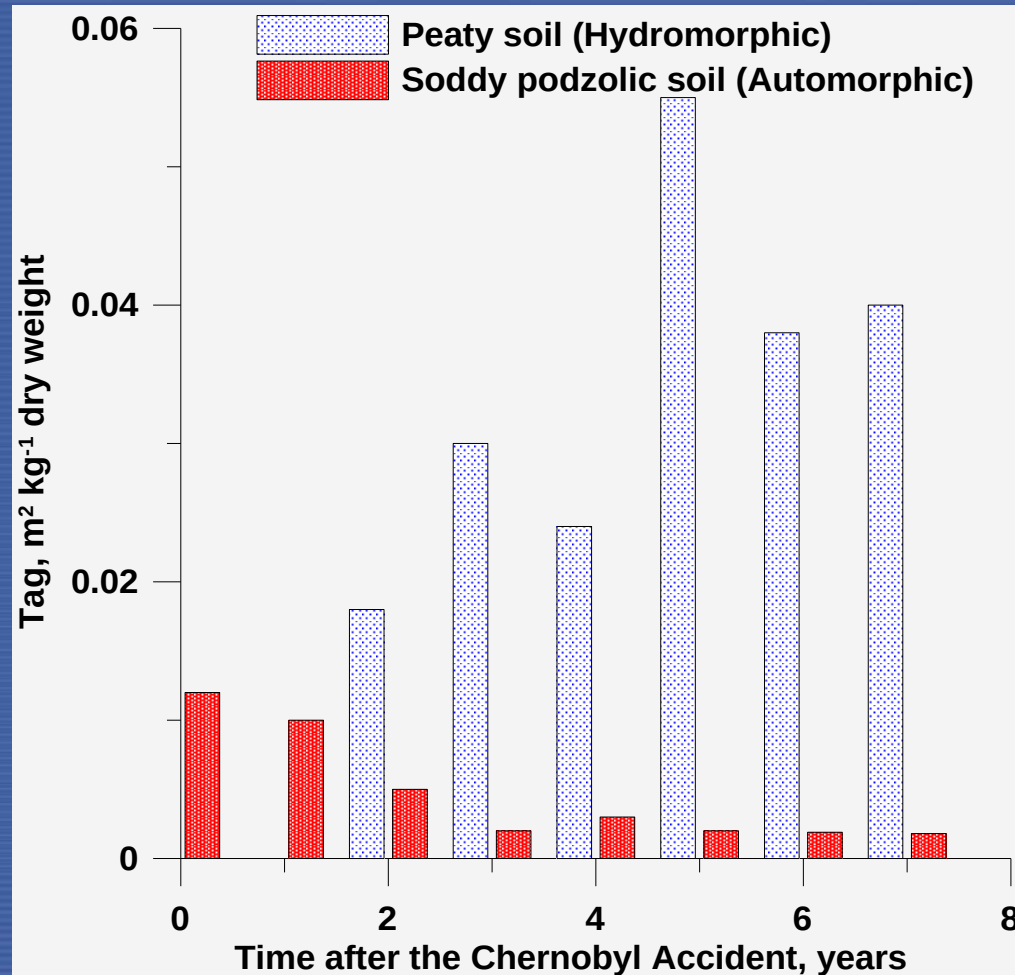
<i>Understorey species</i>	<i>1989-1994, Belarus</i>	<i>1986-1994, Russia</i>
<i>Vaccinium myrtillus</i>	7.7	6.5
<i>Vaccinium oxycoccus</i>	8.9	13.0
<i>Fragaria vesca</i>	2.8	3.8
<i>Rubus idaeus</i>	2.2	2.6

Radial distribution of ^{137}Cs at different vertical positions along the trunk of Pine trees.

The ring formed in 1986 is given by a vertical mark



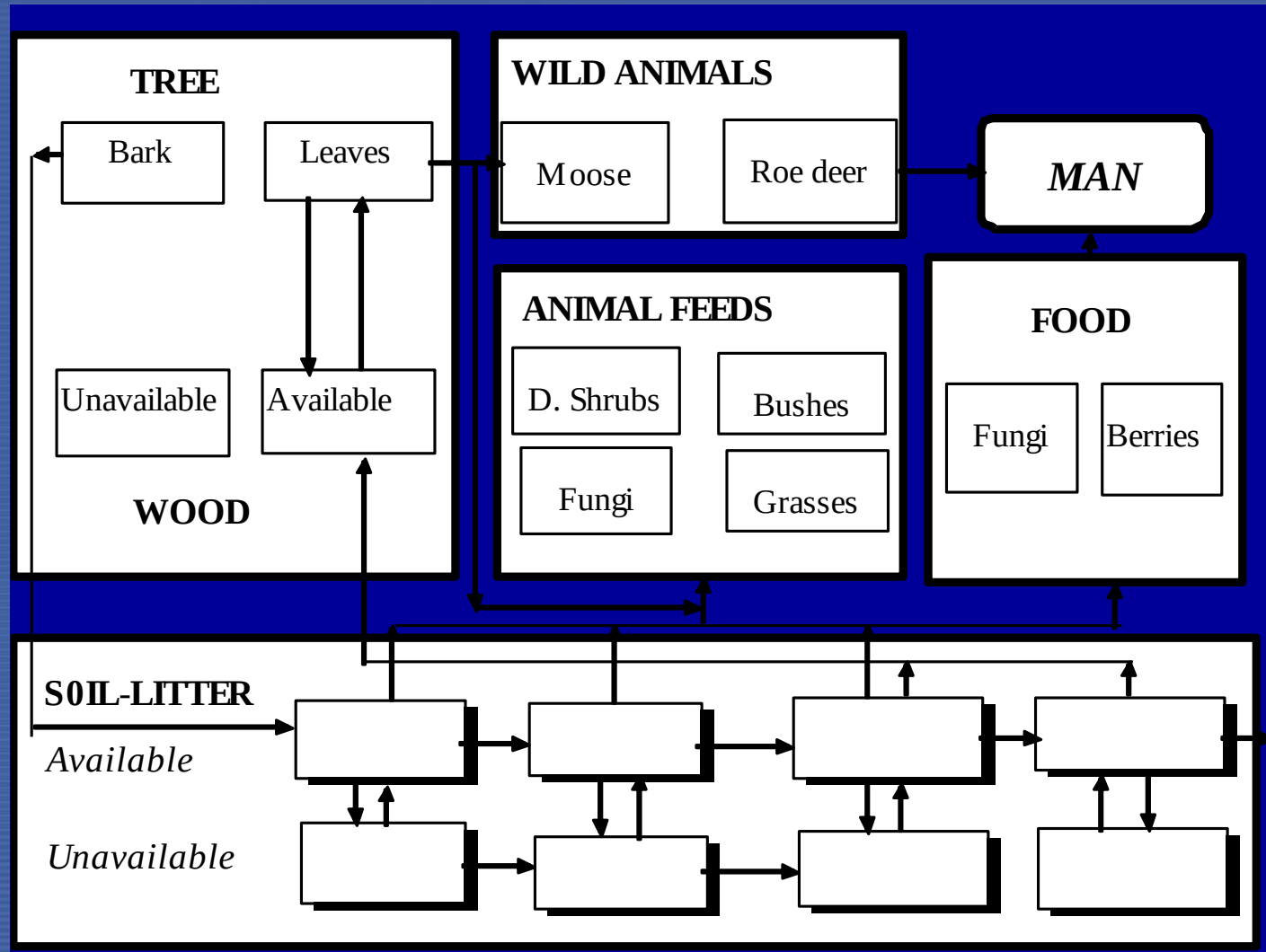
Transfer of ^{137}Cs to pine wood on soils with contrasting properties (IAEA, 2009)



Factors governing radionuclide accumulation in game

- *Transfer factors from feeds to muscles*
- *Biological half lives in game tissues;*
- *Feeding ration of game;*
- *Seasonal variations in availability of different feeds;*
- *Type of forest – radionuclide concentrations in different feeds.*

Modelling of radionuclide behaviour in the forest (IAEA, 2002)



FORESTLAND model (IAEA, 2002)

- *FORESTLAND is a dynamic ecosystem model for interpreting and forecasting temporal and spatial patterns of the radioactive contamination of forests ecosystems. The model is focused on migration pathways leading to internal and external radiation doses to the population.*
- *FORESTLAND can be applied to both the acute and long-term phases of the contamination created from an aerial radioactive deposition. The present version of the model consists of five individual models.*

FORESTLAND model

- *FORESTLAND is a dynamic ecosystem model for interpreting and forecasting temporal and spatial patterns of the radioactive contamination of forests ecosystems. The model is focused on migration pathways leading to internal and external radiation doses to the population. FORESTLAND can be applied to both the acute and long-term phases of the contamination created from an aerial radioactive deposition.*

Minimum Forest Management

Forests need a certain minimum level of management in order to prevent forest fires and to keep potential diseases and animal numbers under control.

This level of management should continue, even if the decision were made to restrict access to both members of the public and workers in order to reduce doses.

The occupancy of workers may be reduced to the level required for fire-fighting purposes (20 people per km² multiplied by the annual probability of a forest fire).

Limiting public access to the forest or banning the collection of mushrooms and berries

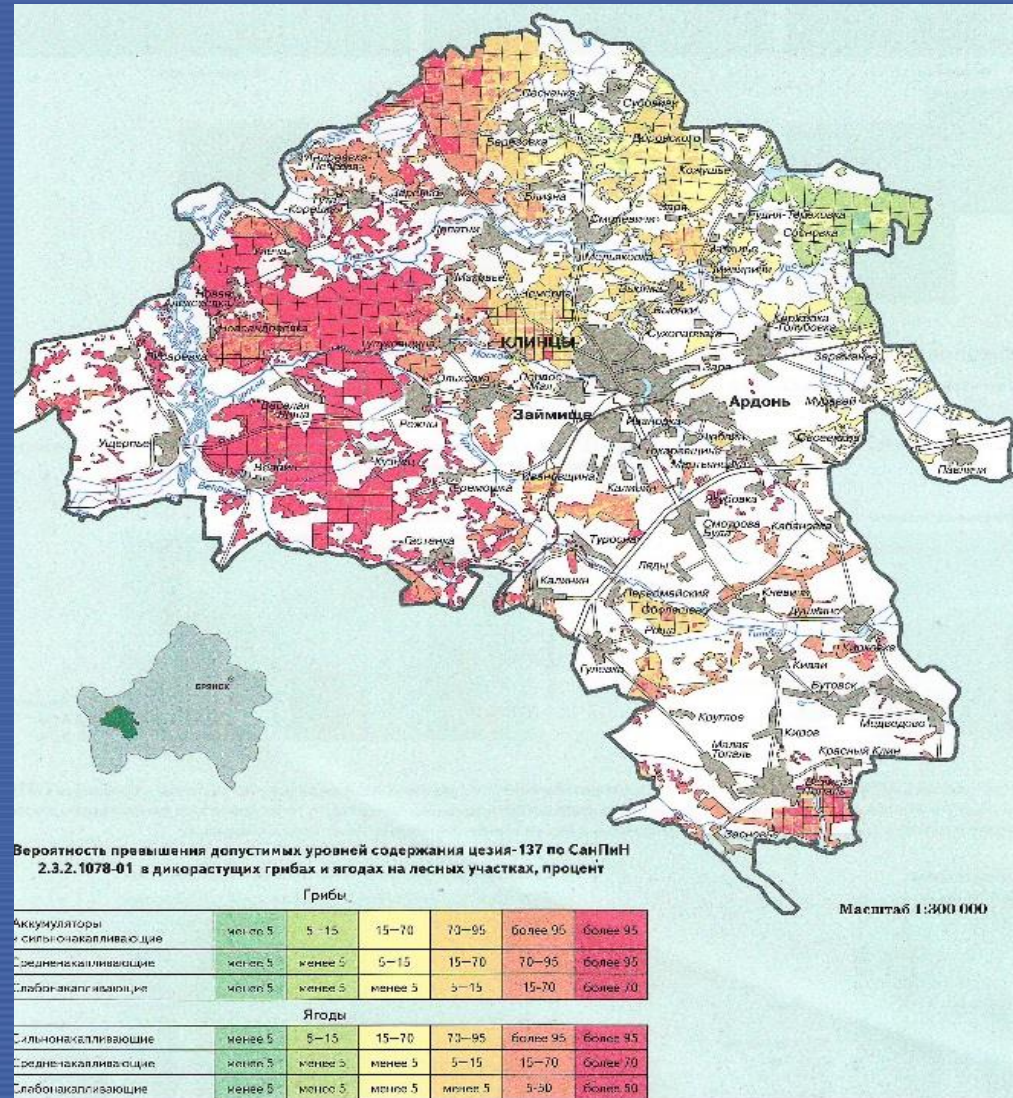
This option can greatly reduce public occupancy of the forest. The level of forest produce collected for consumption by the public may be also very low. The ingestion of mushrooms and berries may be substantially reduced.

Thus, the option can make negligible external and internal doses related to the forest.

Optimizing forest management

Optimisation approach supported by site specific information to each settlement on spatial variation in contamination for nearby forests, which mushroom species to avoid, where and when wood and wild products can be taken.

The Map indicates forests with different probability to sample contaminated mushrooms. Similar maps were prepared for other forest products, berries, wood, herbs, game etc.



Limitation of tree harvesting and forest products collection to areas with low contamination

The contaminated forest can be subdivided to the subareas with different forest soil contamination.

External doses can be lowered, if forest activities are limited to the areas with low soil contamination.

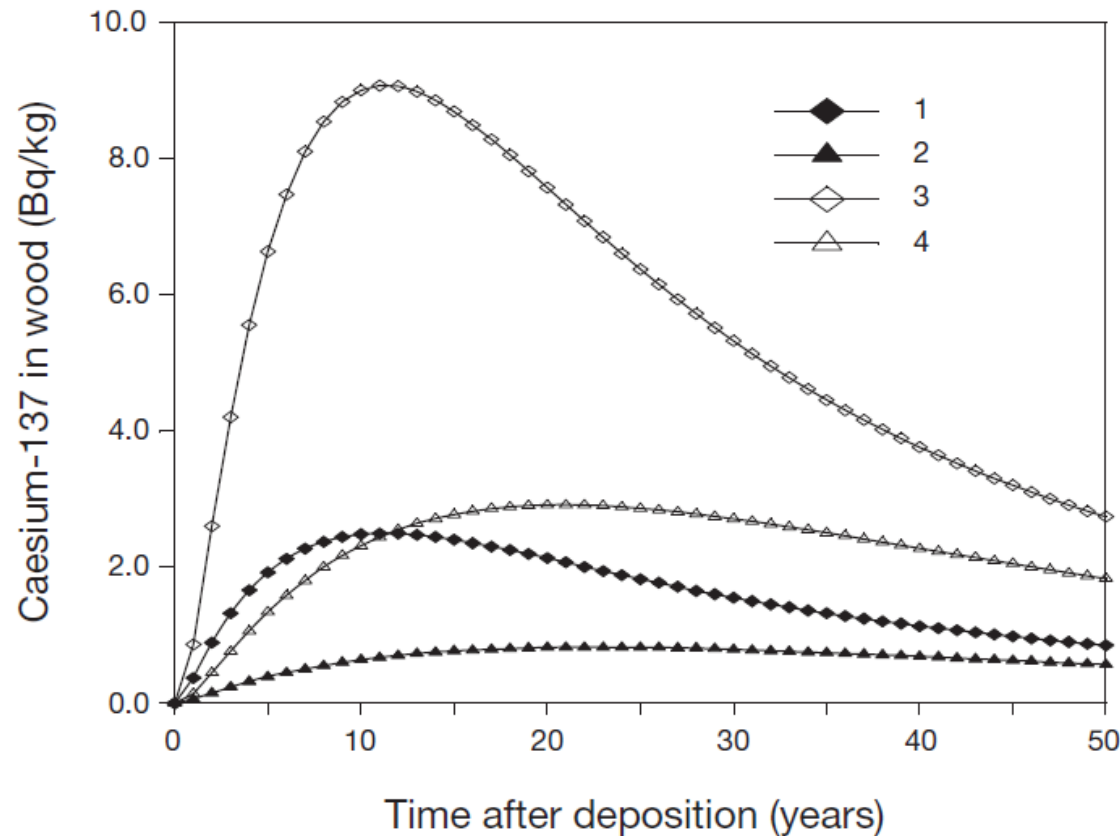
The same effect can be observed for internal exposure, if mushroom and berries will be collected in the area of low contamination or with low radionuclide transfer.

Delayed harvesting of timber

The objective of this action is to allow the activity concentration in wood to be reduced by radioactive decay, and to allow activity in the soil to migrate to depths below those accessible to roots.

The lower activity concentrations in wood at the delayed time of harvest may reduce doses to both the public and the forest workers, (e.g. resuspension during cutting and from being surrounded by wood in a wooden house or storage area).

Cs-137 activity concentrations in wood for 1 kBq m⁻² contamination density



Management options for the forest soil: Soil improvement and application of PK fertilizer and/or liming

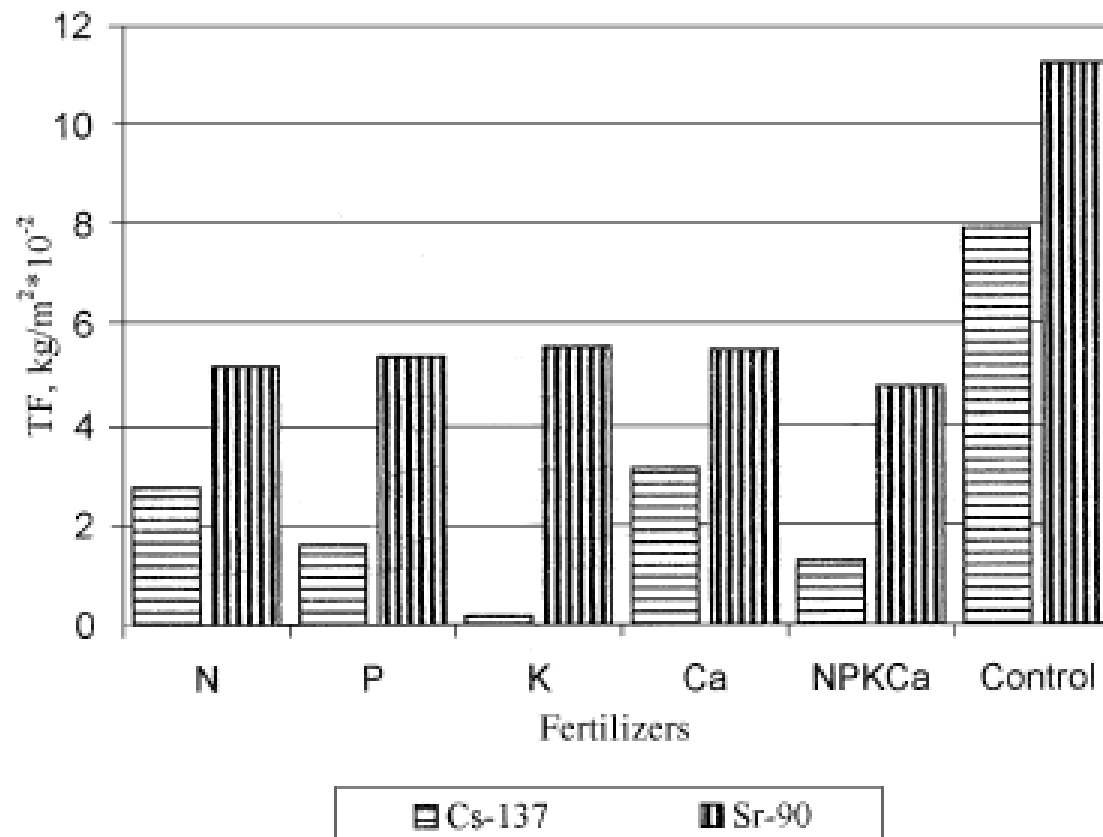
The option involves initial thinning or clear cutting of trees followed by shallow harrowing (not ploughing) of the soil.

This may provide some reduction 1.3 fold in the soil to tree transfer .

This option involves the application of fertilizer or lime to the forest soil.

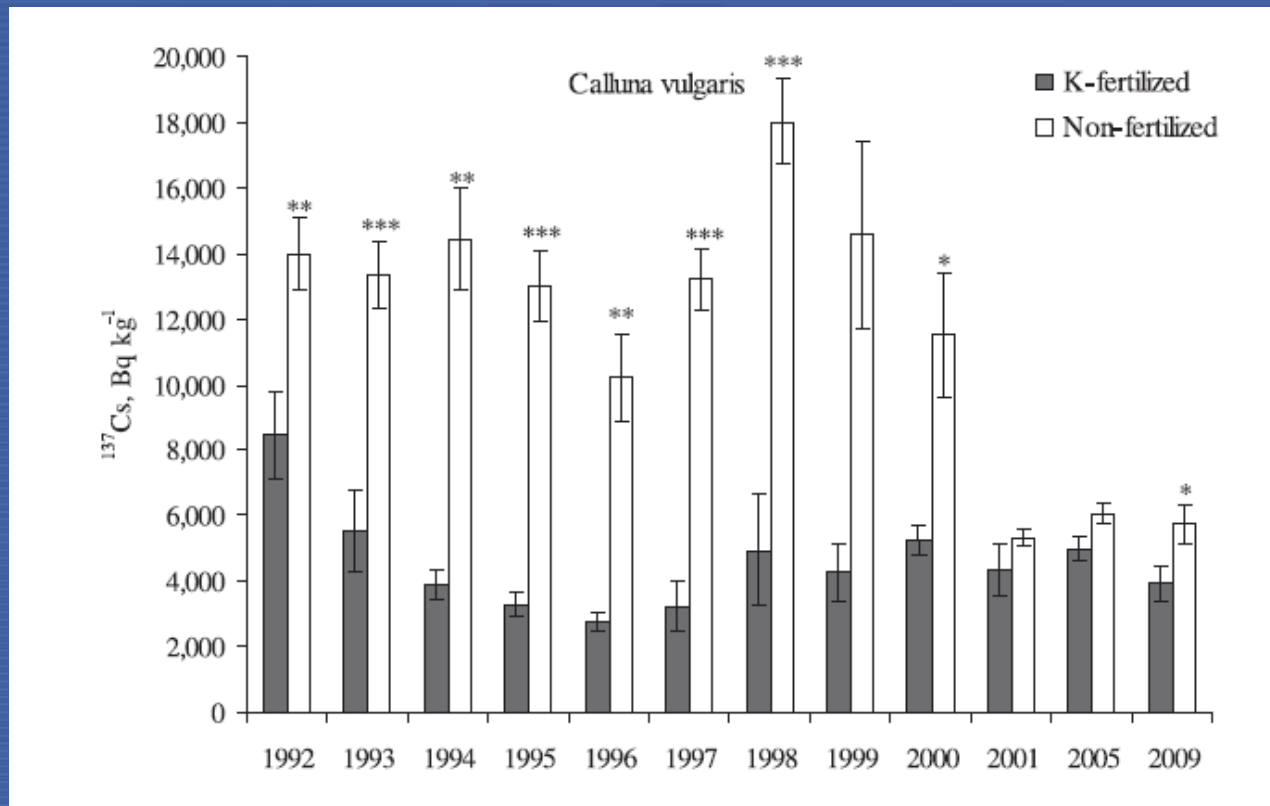
The option may allow up to 2 fold reduction of the transfer from the soil to all forest products, with the exception of some mushrooms and roe deer.

Influence of fertilisers on the ^{90}Sr and ^{137}Cs transfer to needles of pine trees (Ipatyev et al., 1999)

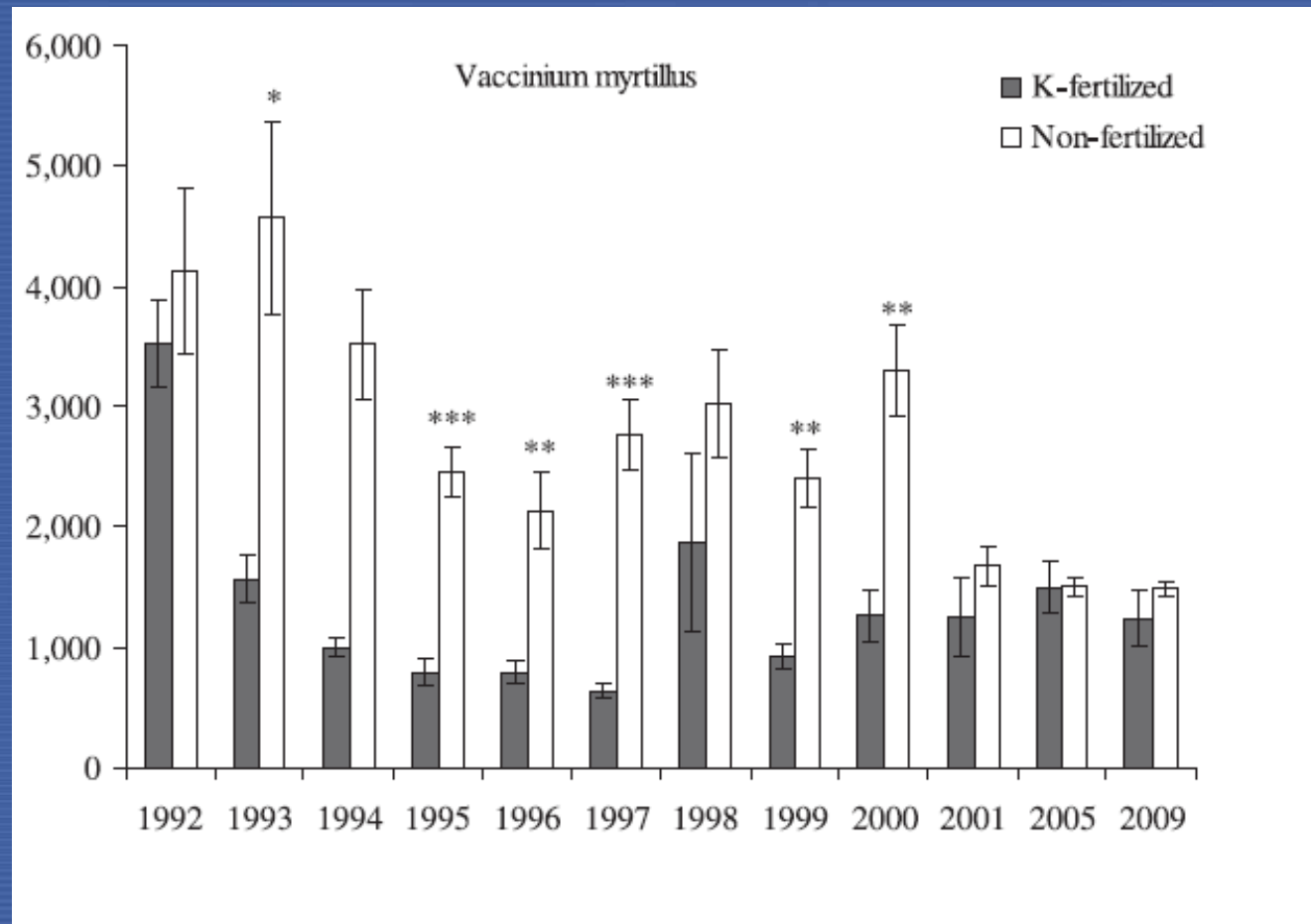


Influence of fertilisers on ^{137}Cs transfer to heather

(Rosen et al., 2011)



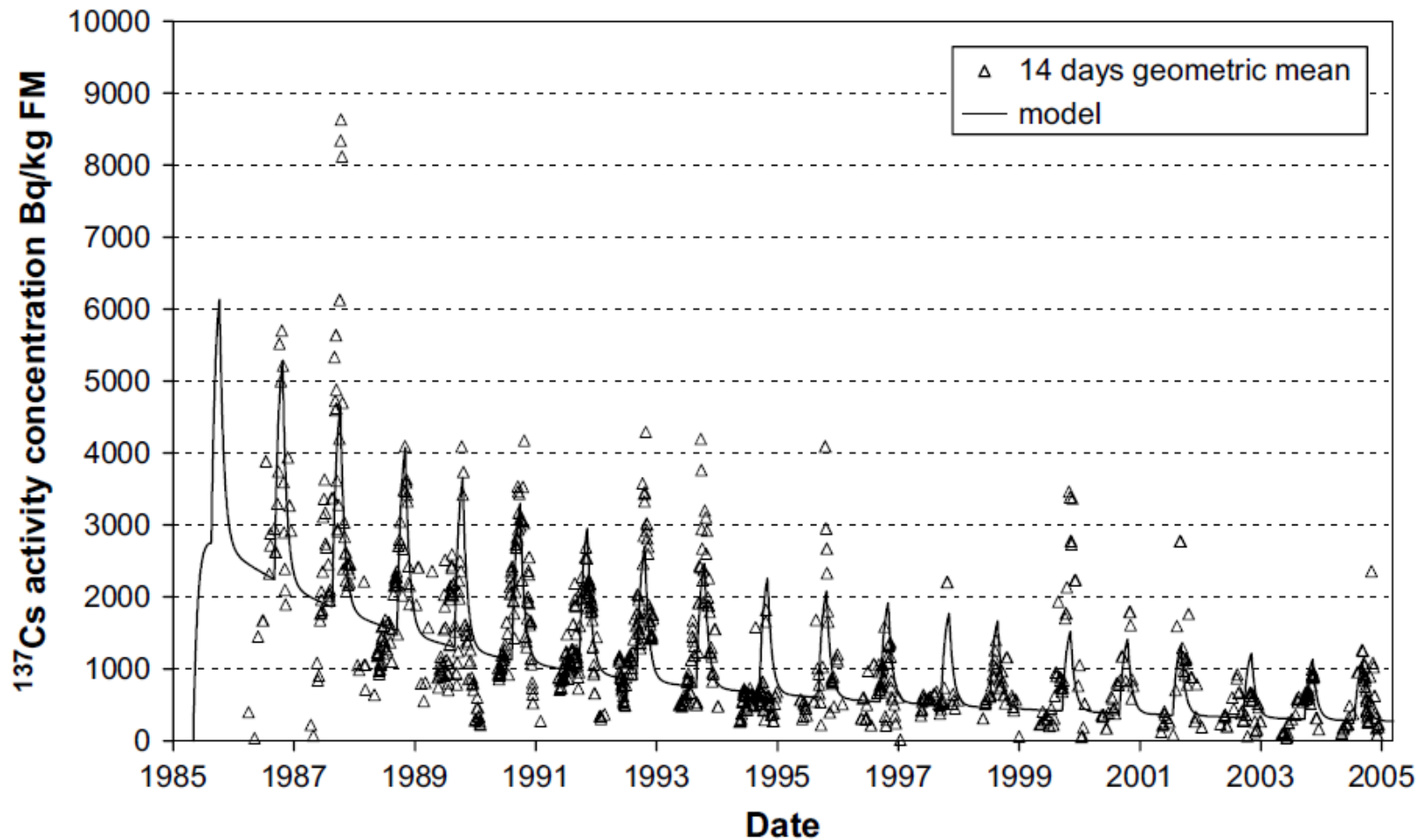
Influence of fertilisers on ^{137}Cs transfer to bilberry (Rosen et al., 2011)



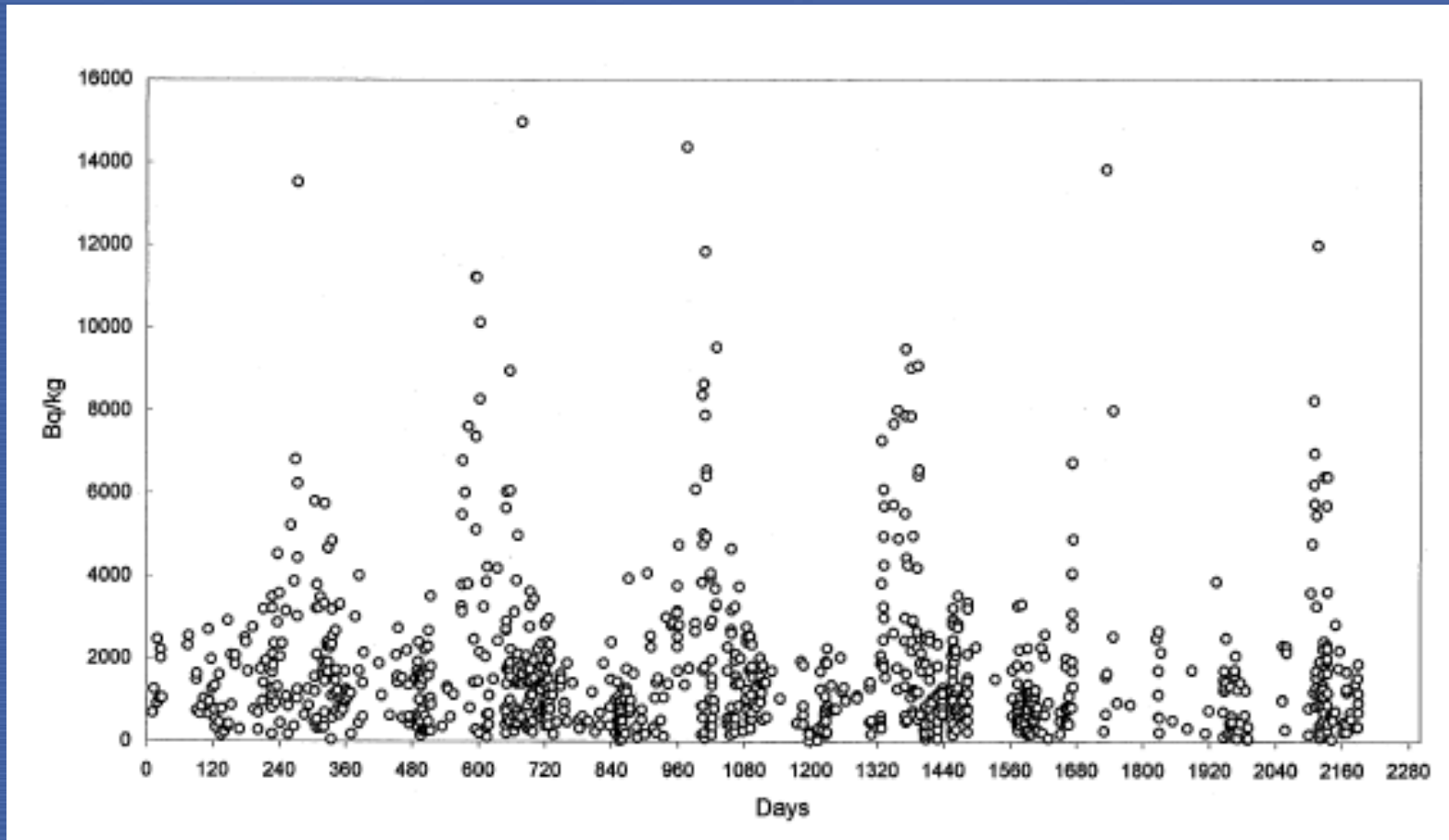
Management options for animals: banning or shifting the hunting of game

This option may substantially decrease the ingestion of wild boar, roe deer or moose. Worker and public occupancy in the forest is assumed to be unaffected by this countermeasure: thus, only internal doses may be reduced by this option.

Dynamics of ^{137}Cs concentrations in meat of roe deer - effect of seasonality in Bodenmais, Germany (Fielitz et al., 2009)

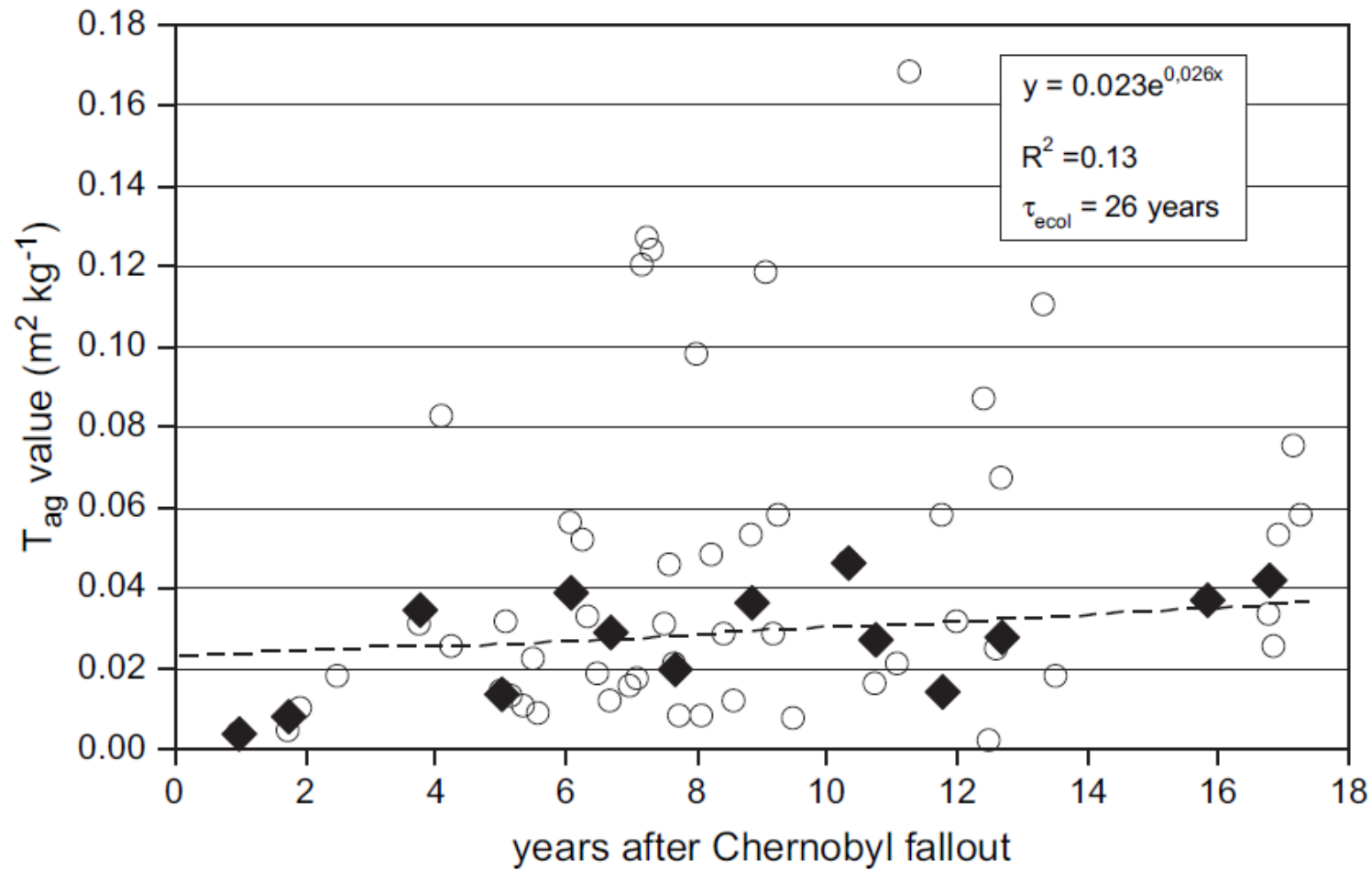


^{137}Cs activity concentrations in roe deer harvested in Harbo area of Sweden (Avila et al., 1999)

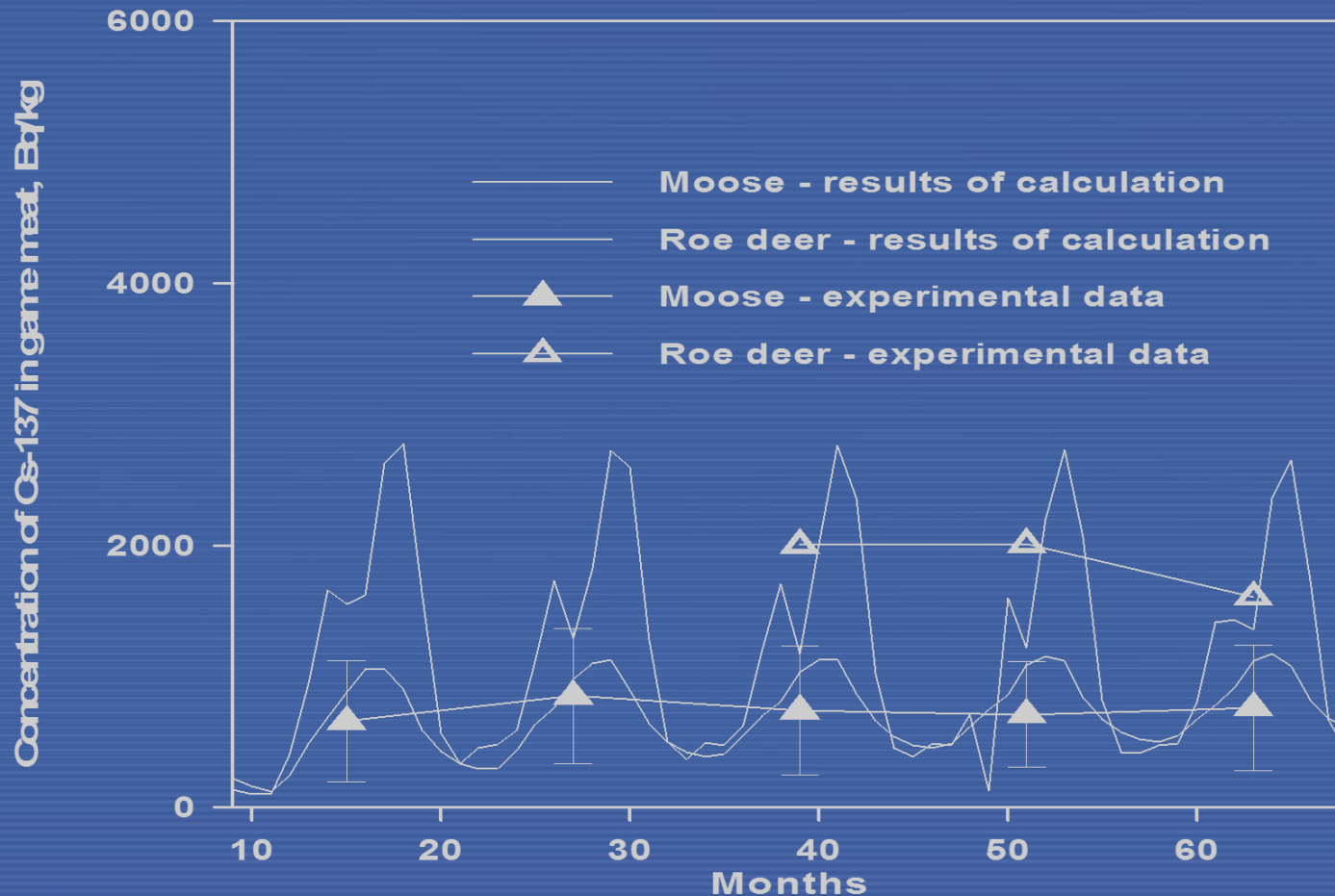


Day 0 is January 1, 1989

Long term dynamics of ^{137}Cs transfer to wild boar muscles. Weinsberg forest. Germany



Time variations of ^{137}Cs concentrations in meat of roe deer and moose in Harbo area (Central Sweden): Application of the FORESTLAND model



IAEA

Provision of salt licks for wild animals

The option involves placing salt licks in forest areas on a regular and continuing basis. The aim is to reduce the uptake of ^{137}Cs by wild animals, such as wild boar, moose and roe deer.

The option may allow about 2 fold reduction of Cs transfer to wild animals.

Combinations of individual options

Some options may be considered in combinations:

- fertilisation of the forest soils and application of salt licks for the game,*
- banning mushrooms and hunting;*
- fertilisation of the forest soils and delayed tree harvest,*
- fertiliser, salt licks and banning mushrooms.*

Basic criteria for evaluating of remedial management options

- *Effectiveness and feasibility*
- *Economic cost*
- *Waste generation*
- *Social and ethical issues*
- *Side effects*
- *Constraints*

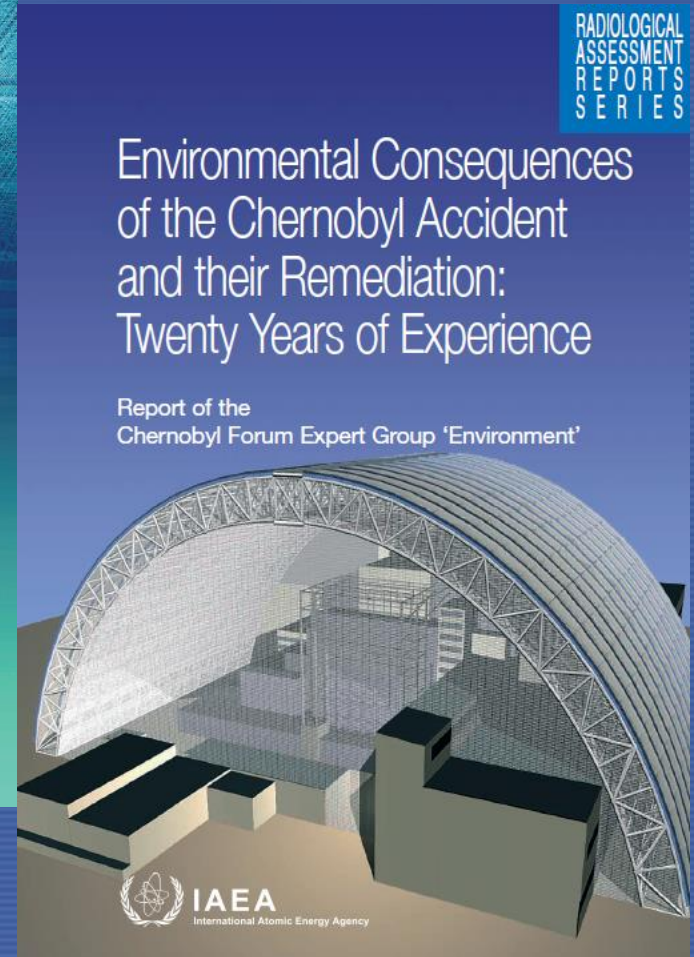
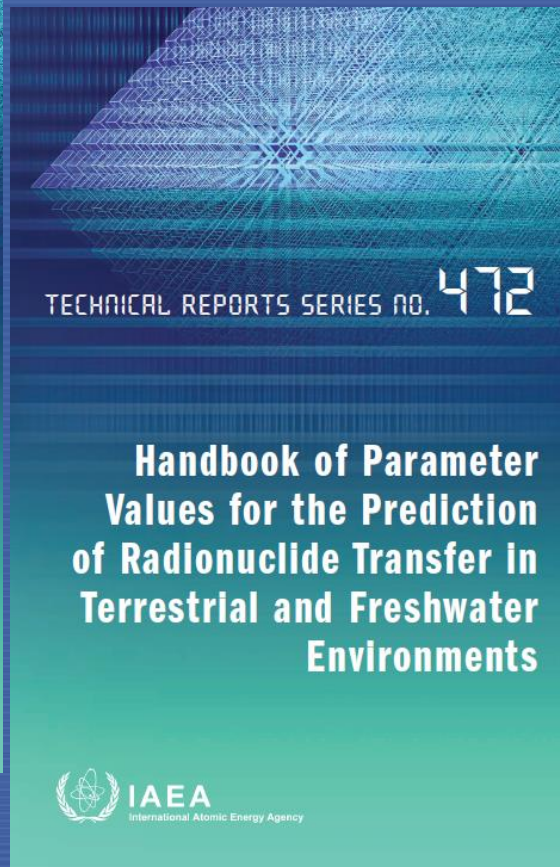
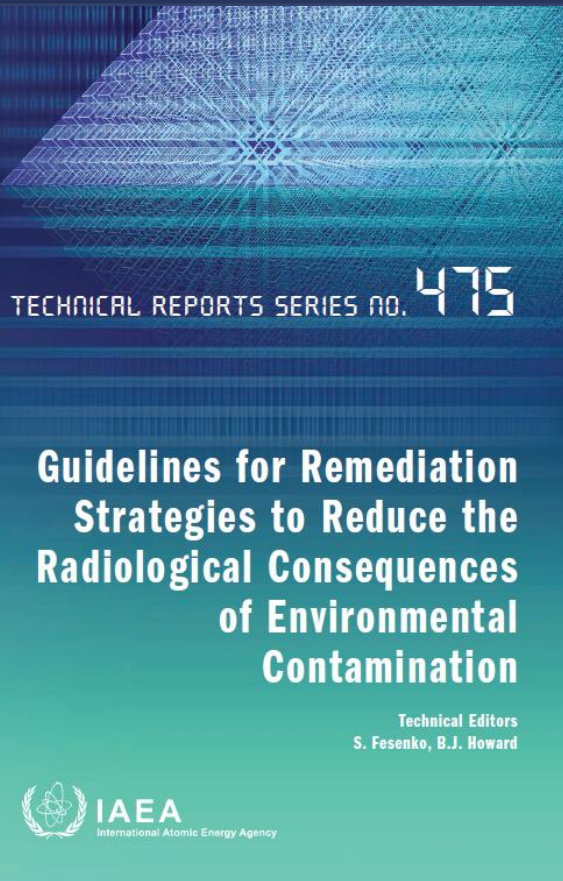
Fukushima Daiichi forest remediation

- *Removal of surface material and branches from 20 m border*
- *Restrictions on wild food, local monitoring*
- *No further new measures are known*

Remedial measures applied – forest: Chernobyl vs Fukushima

<i>Remediation measure</i>	<i>Chernobyl</i>	<i>Fukushima</i>
<i>Restrictions on access</i>	✓	✓
<i>Restricted harvesting of wild foods</i>	✓	✓
<i>Restricted collection of firewood</i>	✓	✓
<i>Altering hunting practices</i>	✓	✓
<i>Decontaminating forest boundaries</i>		✓
<i>Fertilisation of forest soils</i>	<i>Pilot projects</i>	
<i>Optimisation of forest management</i>	✓	

Some additional details can be found in:



Some useful references

- *Alexakhin, R.M., “Remediation of areas contaminated after radiation accidents and incidents”, Remediation of contaminated environments (Voigt, G. and Fesenko, S., Eds.), Elsevier, Amsterdam (2009) 177-222.*
- *Fesenko, S.V. et al, 2000. Analysis of the contribution of forest pathways to the radiation exposure of different population groups in Bryansk region of Russia. Radiation and Environmental Biophysics 39, 291e300.*
- *Hove, K., et al., Fungi: a major source of radiocaesium contamination of grazing ruminants in Norway, Health Phys. 59 (1990) 189-192.*
- *International Atomic Energy Agency, Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the Chernobyl Forum Expert Group Environment, IAEA, Vienna (2006).*
- *Ipatyev, V.A., et al.,, 1999. Forest, man and Chernobyl. Forest ecosystems after the Chernobyl NPP accident. Current state, prediction, perception by the population, ways of the rehabilitation. Retchinsk, Gomel (in Russian with English abstract).*

Some useful references

- *International Atomic Energy Agency, The Fukushima Daiichi accident. Technical volume 4 radiological consequences, IAEA, Vienna (2006).*
- *Modelling the Migration and Accumulation of Radionuclides in Forest Ecosystems (IAEA BIOMASS REPORT 1, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002*
- *Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. Technical Reports Series 472, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2010*
- *DE CORT, M., Atlas of Caesium Deposition on Europe after the Chernobyl Accident, Rep. 16733, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (1998).*
- *Fielitz U, Klemm E, Strebl F, Tataruch F, Zibold G (2009) Seasonality*
- *of ^{137}Cs in roe deer from Austria and Germany. J Environ*
- *Radioact 100:241–249*

A photograph of a dense forest with tall, slender trees. Sunlight filters through the canopy, creating a warm, golden glow. The text "Thank you for your attention!" is overlaid in a yellow, cursive font.

*Thank you
for your
attention!*

司会：それでは次のご講演に移りたいと思います。次は **Sergey Fesenko** 先生です。**Sergey Fesenko** 先生はマヤークプラント事故の後、水生生物に対する長期生態影響評価、それから放射性核種の分析についてご研究され、モスクワ大学で博士号の学位を取得されています。その後チェルノブイリ事故の影響評価や農業と林業におけるマネジメントなどについて、多くの国際放射線生態学のプロジェクトに参加されています。現在は IAEA、International Atomic Energy Agency、国際原子力機構において放射線生態学、それから放射線防護、緊急対応の専門家として影響評価など、放射線影響評価など、その修復についても研究されご活躍されています。きょう『**The incident of Chernobyl and subsequent forest contamination issues**』というタイトルで発表していただきます。すいません、タイトル日本語は『チェルノブイリ原発事故による森林環境影響』についてということで **Fesenko** 先生、お願いします。

D：皆さんこんにちは。本日はお招きいただきましてありがとうございます。非常に難しいテーマを与えていただきました。チェルノブイリと福島との間でどのような違いがあるのか、どのような共通項があるのか等についてお話をさせていただきます。特に森林に焦点を当ててお話をしたいと思います。

IAEA がいろいろな調査を行った結果ということで、皆さんにご報告をしたいと思います。こちらで今ご覧いただいているものは何なのかということですが、左側のほうに書いてあるのがチェルノブイリ、そして右に書いてあるのが福島です。ここでは、この2つの地域における放射性核種の大気放出の在り方がどうであったのかということが分かります。この中でかなりチェルノブイリ、非常に高くなっているということが分かります。その中で、それぞれの核種に関して比較をしていくということが重要なんですが、しかしその際に事故後の主な被ばく経路は何なのかということについて焦点を当てることが極めて重要です。特にチェルノブイリの場合で言いますと、このような外部被ばくに加えて内部被ばくが主に中心であったということです。

01 : 19 : 55

そして特にこのチェルノブイリ後のセシウム 137 による表面汚染というのが欧州全域に及んだということが非常に大きな要素ということになります。ご覧のとおり、チェルノブイリ事故の後には影響を受けた地域がこんなに広がっているということが分かります。そしてそれに加えて森林汚染も非常に広範に存在したということが分かります。チェルノブイリの場合には、これは福島とは全く違う状況であったということです。福島をご覧いただきますと非常に限定的であるということが分かります。最初のところの段階において、この福島の場合には特に海岸に近い所に位置していたということで、風向きが主に●向けであったが故に、その影響も非常に小さかったということが分かります。

さて、この放出のパターンということについてもお話をしたいと思います。いろいろな変数がありますが、こちらでチェルノブイリで見ますと、恐らくこの福島との状況がかなり違うということが分かります。最初は温度の上昇に伴う初期の放出がありました。そしてその

結果、この汚染に関してはかなり一貫した形、均質のものであったということが分かります。福島の場合には海のほうに風向きが向いていたんで、やはり一定しなかった部分もあります。そして海洋や陸上、両方への放出があったということが分かります。

こちらで今度は公衆にとっての森林の重要性はどういうものがあったらいいかということについて考えています。こちらは高大な天然資源そのものであると森林は取られています、この森林というのは経済、栄養学的な●的にも、そして社会的にもさまざまな恩恵を与えてくれるものということになります。多くの人々は森林を非常に広範に活用しています。そして多くの地域において、汚染は多くの地域で見られたということです。そして例えば森林、あるいは森林の林産物を使うような人々の場合には内部被ばく、外部被ばくにおける主たる被ばく●が、この森林になってしまったということです。特に重要なグループに焦点を当てる必要があります。重要な集団とは何か。これは特に大きな影響を森林から受けた人、つまり林産物を摂取したり森林の中でいろいろな活動をする人たちということになります。特定の挙動に関して影響を及ぼすような人々ということで、このいわゆるクリティカルグループ、重要な決定グループを念頭に置いて考えなくてはならないということです。

そしてその際には、3つの森林汚染についての視点を考えるにあたっては、このグループに焦点を当てつつ検討を進めなくてはなりません。そこでその際に、この3つの視点が必要になってきます。それはすなわち誰がどのようにして被ばくをするであろうかという、その経路を規定していくのだということです。まず工業製品などを原料として作られるもの、木材とか、あるいは関連の製品であるとかそういったところ、家などもそうです。家具もそうです。そういったものを使っていくということが1つ。それから2つ目ですが林産物をそのまま使う。薪とかキノコとかベリー類などを使っていくということです。それを自らの食事、あるいは食糧源として、かなり多く摂取しているということが重要です。それから3つ目ですがレクリエーションに使うということです。例えばウォーキング、散歩をしたり、あるいはキャンプに使うということです。こちらが多くの人々にとって重要な位置である場合には、これが重要ということになります。

さて、これがどのような重要性を持っていたのかと、長期的にはどうだろうかということを見ています。こちらは実は線量●における森林の重要性は年を経るに従って拡大しているということが分かります。これ、農作物に比べてキノコやベリーの内部線量に占める割合が上昇しているということです。こちらでかなり、もともと1987年の場合には10から15パーセントであったものが、96年には40から45パーセントになっているということです。農作物のセシウム実効半減期というのは1987年から96年の間で大体1.4年から5.6年なんです、実は、このキノコやベリーの場合には、それがずっと長くなっています。こちらは10年、20年ぐらいという形となります。こういった林産物の場合には、例えば●を使ったりとか、その他のものを使っていくという場合には非常に長くなってくる、10年、20年になるということが分かります。

01 : 25 : 05

それでは今度は、いろいろお話をするにあたってさまざまな用語を使いますので、その定義についてお話をしたいと思います。こちらでまず **Tag** というところですが、これは移行係数、総合移行係数ということになります。ここでは特定の対象における質量、放射能濃度ということを見ていきます。特定の物質に関して単位面積当たりということを見ていきます。

次に **FV** というところですが、放射能濃度率を示しています。この放射能濃度率というのは例えば土壌に対する植物の放射性核種の放射能濃度率を示すものということになります。例えば動物などについて見ることができます。

それから今度は生物学的な半減期ということです。これは生体内から搬出される、あるいは排せつされる形でなくなっていく。それで半分になる時期とはいつなのか。半分になるまでにどれだけの時間が必要であるかということを見ています。特定の組織、あるいは臓器に関して放射性崩壊以外で見ていくということです。

それから生態学的な半減期というのは何なのかということですが、放射性核種の放射能度を見ていくんですが、その際に総合的な、統合的なパラメーターを与えて、それが全体のプロセスの中でどうなるかということを確認していきます。これも特定の気質によって、どんな形で減少していくかを見ていくわけです。

それでは今度は森林汚染評価の主要要素として何を見るべきかということを考えていきます。まず環境モニタリング、被ばく経路の分析、そして核種の挙動を決定する諸因子の評価ということになります。そしてまたどのような形で実行されていくのか。さまざまな修復オプションのうち公衆は何を専攻するか。さまざまな修復オプションを実施した場合の結果のシミュレーションなどをしなくてはならないということです。このプロセスの中で実際に何を必要としていくのか。環境、あるいはこの森林ということ考えた場合に何が専攻されるのかということを考えていきます。基本的には、このさまざまなオプションがあった場合に何が起こるだろうかということを考えていきます。例えば林産品を使っていくであるとか、そういったものがあっても実際には人々がそれを拒絶するということもあり得るわけです。森林利用等の在り方について、もともと必要とされていないのであったならば修復オプションとしても採択されないということになりますし、またもう 1 つ、経済モデルを用いていくということも非常に重要です。その際に、このような形で修復オプション、どれについて何を必要とするのかということを考えるということが重要です。

そこで、この分野について非常に森林汚染が著しかったブリャンスク州のノボジブコフ **＝地区＝** についてのお話をしたいと思います。この地域ですけれども、非常に地域としてはこのように 180 キロも離れているという所、チェルノブイリから 180 キロも離れている位置にあるということです。森林土壌の汚染が起こった。これはもう 1 平方メートル当たり 150 から 2,500 キロベクレルのレベルだったんですが、人口は約 6 万人、そしてそれが 111 の集落に分散して居住するという状況でありました。この研究対象地域のデータは汚染度に照らしてゾーンごとに取りまとめられています。このように分けられているということ

です。

そこで、まずモデルをどんなふうに使ったのかということが示されています。こちらでは時系列的な変化として地域住民の平均実効線量がどうなったのかということを示しています。こちらで 1990 年のすぐ後のレベルで見っていますが、この実効線量がこのような形で変わってきているということが分かります。このような違った種類のモデルを使っていくことによって 1 ミリシーベルトのレベルまでいくに、どのぐらい＝カッテ＝いるのかということが示されます。この 2000 年から 2030 年の部分はシミュレーションの結果です。

こちらですが、今度は同じく時間依存で環境がどんなふうが変わってくるのかということを示します。こちらではキノコとベリー類との間の比較が示されています●。こちら、私とそれから●もう 1 人の別の人と一緒に調査を行っています。

まず私のほうで見てまいりましたキノコですが、2000 年の段階まで調査をした結果です。あとはシミュレーション結果です。

01 : 30 : 01

そしてマッシュルームのキノコのほうが非常に高いということが分かります。こちらでは許容、この＝PL＝というのは許容レベルなんです、チェルノブイリのすぐ後の段階においてこのようなレベルが出た。かなり時間がかかって、下がるのにはかなり時間がかかったということが分かります。

それから今度は環境の中のどんな経路があるのか、どんなプロセスがあるのかということですが、ここではいろいろな変化がこのような形でつながりつつ起こっているということが分かります。ですからその際に、まず根からの取り込みがある。まずもともと土壌で、この放射性核種が入っていく可能性がある土壌かそうでないか、そしてその上で、もし入ってくる可能性があるなら、そこから根から取り込んでいく。そしてそれが最終的に食料を通じて人、あるいは動物の体内に入ってくるということです。場合によっては林産品に関わっている、生産に関わる、処理に関わる人の場合には直接その中に入ってくるということもあります。

そこで今度は被ばく経路の寄与率を考えています。●地区ということで見ていきますが、この地域、先ほどお話しした同じ地域です。こちらで人口、正常な集団であったならばどうか、そしてこのクリティカルグループということで被ばくが多かったであろうと思われる群の場合にはどうなるかということで比較が出ています。こちらでは正常な群の場合には 24、それに対して重要な集団の場合には 88、90 近い数字になっているということが分かります。ですからその意味でも特に重要な集団、つまりかなり森林に影響があるような人々に、森林から影響を受けるような、森林の経路に関連する人々に焦点を当てて見ていく必要があります。

次に森林植生による放射性核種の補足ということについてお話をしたいと思います。こちらでは幾つかデータがありますので、それを使って結果を導いてみたいと思います。そもそこの沈着のタイプも 2 種類あります。湿性と乾性ということになりますが、粒子径も

影響を与えていきます。さらに季節性の変化もあります。季節性の影響として何があるのか。例えば森林区画のバイオマス、落葉樹林の場合に●とバイオマスが夏と冬では状況が違ってきますので季節性の変動があるということです。それから例えば狩猟対象生物、動物の場合で言うと、それが実際に食料があるのかないのかということによって、餌があるのかないのかということによって状況が変わっていきます。場合によっては、シーズンによっては狩猟対象動物が多いときもありますし、そうではないときもあると。そして例えばキノコを食べているのか食べていないのかということによって、その狩猟対象生物の中での蓄積量も変わってきます。

さらに●系、森林特性によって変わってきます。例えば樹脂構成とかバイオマス、樹齢によっていろいろ変わってくるということです。インパクトが、かなり違いが出てくるということです。

次に今度はストロンチウム 90 の放射能濃度についてご覧いただきたいと思います。こちらですが、これはキシュテムにおける事故の後にカバの林、カバ林ではどのようなことが起こったのかということを見ています。こちらでは葉と枝と幹と内部樹皮と外部樹皮で見えています。こちらでは汚染があったすぐに非常に下がっているというのが、こちら葉であるということが分かります。ところが、こちらで 5 年間後に何が起こったのかということになりますと、今度は幹の部分にかなり入ってきているということが分かります。ストロンチウムが葉から今度は幹であると。その他のものに入ってきているということが分かります。そしてさらにこの 2 つ目のところというのが、これは内部の樹皮ということなんですが、こちらで最初に少し立ち上がっていて、その後、一貫しているという形です。この土壤について、土壤から入ってきた所が分かるということです。移行が起こっているということです。このようにして活動、失礼、これは放射能の濃度がどのように変わっているか、幹の部分が後になって立ち上がってきているということです。

次に放射性核種の蓄積ということですが、植物とキノコの場合にはどうなのか。これは何によって決まるのかということですが、植物の根やキノコの菌糸体が、もともと汚染●どこにあったのかによって変わってくるということです。そしてその際に、これを考えるにあたってどのようなダイナミックな状況があったのかということを考えなくてははいけません。そして植物ごとのセシウム 137 の蓄積能というものも考えていく必要があります。

01 : 35 : 00

例えばキノコの場合には蓄積しやすいとかしにくいとか、そういったことを考えていくということです。放射性核種の分布についても同様です。例えば土壤によって、あるいは腐葉土層によってどんなふうに●するかにも変わってまいりますし、土壤の種類、水環境も関わってくるものです。それから栄養物、例えば樹木、腐葉土、土壤というものも関わってくるでしょう。この地域においては、例えばこのプロセスがあまり集中的ではないということもあります。水環境によって変わってくるということです。また先ほどお話ししたような栄養物も関わってくるでしょう。腐葉土についてもそうですし、土壤もそうです。これがかな

り大きな影響を与えるということが分かります。さらに＝リンケイ＝によっても違いが出てきます。

今度は、その土壌からの移行係数ということについてお話をしますが、これは土壌からキノコへの移行係数としてはいろいろな種類のものがありますので、こちらをご覧くださいましょう。最大の数字というのを見ていく必要がありますが、キノコの中ではかなりの長きにわたっての集中ということで、アワタケの場合にはかなり大きくなってきているということが分かります。高い蓄積が見られるということです。それからまた違った種類のベリー類についても同じような結果を生み出しています。それからこちらですけれども今度は、これは松の幹の高さによる違いを示しています。セシウム 137 がどんな分布の違いを示しているのかということです。こちらでは●の地区において見ていったわけなんですけど、まずここで分かることは、このようにして高さによって違いが生じてくるということです。汚染の度合いということについてデータ、それぞれ＝ジセイド＝と＝ハンスイセイド＝と＝スイセイド＝で見っていますが、このような違いが生まれてくるということです。移行が起こっていくということ、そしてさまざまな要素がここには関わってくるということです。そして日本のスギの場合には状況は随分違うということが分かりました。構造が違うということだと思います。ですからそれについても検討を進めていく必要があります。

それから次ですが、今度は土の種類によっては、土壌の種類によって状況が違うということを示しています。ここでは薄い水色で書かれているのが泥炭などのスイセイド、そして赤で書かれているのが芝土の＝ホドゲルセイ＝の土壌、つまりジセイドということになります。こちらでこのダイナミックスを見ていかななくてはいけないということです。つまりこのような汚染が起こった後にどうなるか。例えばこちらで見ますと、まず一番最初にホドゲルセイの土壌で非常に高く出ているんですが、それが実は後になってかなりスイセイドのほうが上がってくるということです。汚染の後の変化がこちらに出てきます。

そこで、この放射性核種の蓄積に関して、例えば狩猟対象種においてはどのような影響があるのかと。それを決定するのは何なのかということですが、餌から筋肉への移行係数が変わってきますし生物学的半減期も変わってきます。さらにこのような評価をするにあたっては特に重要なのが森林の種類ということです。そしてこちらですが、モデリングが非常に重要です。核種の挙動を見るということです。このような形でモデルを使いながら研究を行ってまいります。このような形で予測を行っていくわけです。そしてこのモデルを見てみますとどんなことが勘案しているかが分かります。モジュール型で見ていくんですが、まず土壌と、それから腐葉土、樹木と野生動物、動物の餌、人、そして食料ということで見ていきます。こちらのそれぞれの＝コンパートメント＝ごとにそれぞれの要素が入ってきます。例えば野生動物であるとか動物の餌はどういうものかということが出てきます。それからもう1つ、実際に森林の中で食するものとしてキノコ類と、それからベリー類が出てきます。さらにこちらで使えるもの、使えないものということで、土壌と腐葉土の内容が細かく入ってきます。そちらの上のものとのつながりを見ていくわけです。先ほども申しましたように、

こんな形で予測をしていくということが非常に重要であるわけです。これは、これから先どう変わるのかを示す●非常に重要です。

A：これはダイナミックなモデルで、これは外部被ばく、内部被ばくの評価に使えます。

01 : 39 : 58

そして人、あるいはそれ以外の種に関しても検討ができます。これについてですが、森林というのは最低レベルの管理が必要です。一定レベルの手入れをしなければなりません。森林火災を防止するためにウクライナでは、あるいはロシアにおいては重要な考慮点でした。森林火災が発生していたということで、最低レベルの森林管理をするということです。それを公衆、作業員が入れないということにしたとしても一定の手入れは必要だということで、その滞在時間は最低限必要なレベルに抑えるということがなされました。そしてこの公衆、あるいは作業員が森林に立ち入りできないという場合であっても、ある程度の手入れは必要だということで、その際にどれぐらいの滞在時間が必要か、どれぐらいの人材が必要かと、これは森林火災の可能性、確率といったデータを基に決定していきました。チェルノブイリの事故の後、あるいは福島事故の後、行われたことですが、この森林への進入禁止、あるいはキノコ、ベリーの採取の禁止ということがなされました。これによって公衆が森林に滞在する時間が減ると。そしてそれによる被ばくを抑えることができるということです。その摂取を非常に低く抑えることができる。しかしこれに従わない人も居るということです。

事故の後 7 年ぐらいで、このような最適化のアプローチを考案しました。森林管理の最適化です。こちらは具体的な情報を基にシミュレーションを行ったものであります。各集落に対して情報を提供することができました。この集落近辺の汚染レベルを伝えることができたわけです。そして森林をどう活用したらいいのかということを示すことができました。どのキノコは採取していいのかいけないのか、どの木材はどこで採取していいのか、どの樹齢の材木を伐採したらいいのか、そういったことを教えることができました。これは森林での測定を基に、それからまたシミュレーションも加味して作成しています。こちらは、この地図はキノコの汚染の度合いを示しているマップですが、あらゆる林産物に関してこのようなマップが作成できます。あまり汚染がされていないものを採取するということです。材木の伐採、そして林産物の採取に関しては、その地図に従って低汚染の所で行うということが推奨されました。そうすることによって、その低汚染の採取をして、そしてこの森林における被ばくも低減することができました。そしてその材木伐採に関しては樹齢によっても汚染の度合いが違うということが分かっていたので、その情報を活用しました。これはさまざまな土壌において、そしてそれはジセイドなのかハンスイセイドなのかということで分けています。そして樹齢によっても分けています。いつ頃伐採すればいいかと、いつ頃まで待てば伐採していいかということが分かります。汚染という観点から、そういった管理ができるわけです。それから土壌改良、それから施肥のオプションもあります。

01 : 45 : 03

これは非常にセンシティブな領域に関しては行いますけれども、もしかしてあまり広大な面積に対しては行うことは難しいというものです。その集落の周辺の森林などに関しては、このようなことを行うことができます。

こちらは幾つかの図表を示しますが、その施肥をすることによって、例えばこれはマツの状況ですけれども効果を出すことができます。セシウムの●に関してもヘザーという植物で見えております。施肥の効果を示しています。こちらはビルベリーに関してです。キノコに関しても同じようなデータがありますが、キノコに関しては施肥をするとかえってダメージを与えてしまうということがあります。

動物に関してですが、この狩猟期をずらすということが行われました。例えばイノシシなどに関して筋肉中の放射性核種の濃度を見ました。非常に濃度が高まる季節があるということが分かったわけです。その季節を少しずらせば、狩猟期をずらせば、あるいは岩塩などを置いて、そしてキノコをあんまり食べないようにすれば受け入れ可能な濃度の肉が得られるということが主な動物で確認されています。こちらはイノシシ、ノロジカ、ヘラジカなどの状況です。一般的に、こういった所で狩猟されている動物です。同じようなデータを福島周辺の周辺でも取ることが可能だと思います。ですから狩猟期をずらすということは 1 つの方法ですが、もう 1 つは岩塩を置くという方法もあります。動物がなめるための塩を置くわけです。塩なめ場を作るということです。そうすることによって、いい結果を出すことができます。こういったさまざまなオプションがありますけれども、それを組み合わせて実施することもできます。例えば施肥と塩なめ場を組み合わせる。こういったものが効果を出しています。20 年ほどやってきて、より複雑な評価も行われるようになっていきます。既にその効果、それから実効可能性に関しては評価が行われていますけれども、経済的なコスト、廃棄物の発生量なども評価しています。廃棄物の発生はできるだけ抑えたいというわけです。それから社会的、倫理的な影響ということも重要です。ステークホルダー、そしてその中で最も重要な公衆にきちんと説明できるようにするということがあるからです。それから副作用、それから制約といったことも評価していかなければなりません。

福島の状況についてですが、福島周辺の森林の修復ということについては、チェルノブイリの後に行われたのと同じようなことが今行われています。ですので、野生生物の摂取の制限、それからモニタリング、こういったことが行われています。これは事故後の期間行われています。それからその他の選択肢も用いられています。

01 : 50 : 00

例えば表土や枝を除去するということであります。これは森林の境界線から 20 メートルの所までやるということで行われています。

次のスライドではチェルノブイリと福島と比較をしています。どういった方策を取っているかということで、大体同じようなやり方が取られています。アクセスを制限する、それから野生生物の摂取を制限すると。それから森林管理という手法はチェルノブイリで使わ

れていて、福島でも近い将来導入されるかと考えます。

追加的な情報に関しては、このような出版物が出ていますのでご参照いただければと思います。もう少し詳細に知りたいという方は、こういった文章をご参照ください。これは簡単にダウンロードで入手できます。一般向けに提供されているものです。それからその他の参考文献のリストです。より専門的に研究されたいという方は、こちらをご参考になさってください。ご清聴ありがとうございました。

司会：Fesenko 先生、ありがとうございました。

D：こちらこそ。

司会：質問、コメントある方、挙手をお願いします。きょうお話に出てこなかったことでも、もしあれば。

D：非常に素晴らしいご発表をいただきありがとうございました。スライドの中でセシウムを減らすということに対して、例えば施肥をするということによってセシウムが減るという話がありました。こちらではもう何年かということですが、これ 1 回だけ施肥をすればいいのでしょうか。肥料を毎年入れる必要がありますか。

1 回です。1 回だけ施肥をすればよいということです。92 年に行いました。そしてその後、これが吸収されていって、その結果は何年にもわたって続いたということです。効果が持続したということです。実際には、これは必ずしもこの部分では石灰でもいいと。肥料ではなく石灰でもよいと考えています。そして非常に効果的にできるわけなんです、特にコストも高いので、かなり広い場所の場合にはそれができないという問題があります。

司会：お願いします。

C：モデリングのところにに関して、ちょっと研究されていたら教えていただきたいんですが、雪が降ったとき、私、北海道なんで雪国出身なんですが、冬の間、例えば上から落ちてくるパーティクルマターっていうか粒子状物質っていうのは、冬の間はずっと雪に沈着されていて春先に一気に溶け出すっていうことが起きるんですけども、そういった影響がもし原発事故がまた次に起きたときに、雪が積もっているときに起きたときと雪が積もっていないときに起きて、その後に秋に起きて、その後、雪が降ることによって雪は水の固まりですからそれで遮蔽効果があって外部被ばくが減るとかっていう、そういった違いみたいなものはモデリングのときに検討されているのでしょうか。

A：海洋だけでなくインターセプションが発生するということが分かっています。雪、雨など、雨というのは雪とは全く異なっています。そして特別なモデルを実験に基づいて構築しています。そういったモデルを持っていますが、雪というのはセシウムにとって重要なだけではなく、この木にとっても重要です。その採取期をずらせば汚染された森林を避けることができる。

01 : 55 : 03

そして外部被ばくをずっと低く抑えることができる。これも森林管理の最適化の中で検討した選択肢の 1 つです。

D：これで答えになりましたでしょうか。

司会：他に質問、コメント、お願いします。

E：有益な講演どうもありがとうございました。移行係数●ファクターは1つの、例えば放射性物質の挙動を表す上での1つのツールとして非常に有効なものなのですが、事故後のケースの場合においては非平衡状態が続いています。この場合、単純計算をしてその値を使うことがいいのか、それとももしくはモデル何かを使って修正することが有効なのか、その辺のところ、コメントがあれば教えてください。

D：私の意見では、こちら全ての森林に関して、このような部分でやはりかなり時間に依存的な変化があると思います。ということで、このようにしてかなり均質的な部分というのは時間が変わってこないというところだと思うんです。そこで指数だけをそのまま使っていく、指数関数そのまま使っていくということとはできないということになります。その意味では何らかの違う要素についても考えないといけないということです。

例えばこちらをご覧ください。こちらですが、時系列的にどう変化するかが示されます。例えば葉の場合にはどうか。葉の場合で言いますと、これはあまり、こうあるであろうというものを裏切る形となっています。しかしこれは非常に自然なことです。というのは、下のほうの葉に関しては恐らくすぐに影響を受けて汚染を受けた葉が上のほうにあって、下のほうはそうではないということになります。そしてその後でかなり高い成長率が、例えば根からの取り込みというのがありますので、それによってグッと後から高まってくる所もあるわけです。そしてその中で逆のプロセスが起こり得るということになり、その結果、最終的には全体としてはバランスを取る形となるわけです。ですからそのプロセス全体を見ていく必要があって、それの上で将来何が起こるかを予測するという取り組みが必要です。このプロセスですが、これは平衡状態ではないです。こちらは福島においても同じことが言えます。こちらですが、このプロセスについて私の発表の中でもありましたが、またその前の方もおっしゃったとおり、こちらはいろいろなプロセスが関わってくるわけです。その地域における形状もありますし、そしてその他のいろいろな土地の形状によっても変化が出てくるということです。ですから福島もそうですが、こういった形での補正が必要になってくるということだと思います。こちらでその部分を今度変えていくというのは、すぐにこうなればこうすべきだというような簡単な答えがありません。単純な等式などというものはないということになります。動的なモデルを使うということが重要であるということです。

司会：ありがとうございます。お願いします。

A：面白いプレゼンでした。これについての質問です。ストロンチウムが、この外部樹皮では急激に減少しています。内部でのトランスロケーションの結果でしょうか。

私ではなく他の者が研究したのですが、こちらは外部被ばくに関してです。降雪などがあって自己洗浄がなされています。内部樹皮に関しては全く状況が違います。この2つを吸収するということがあります。何が起きたのかを理解することが難しかった。この樹皮ですが、さまざまな木において異なる挙動を示します。

02 : 00 : 09

こちらのデータは 40 年ほど前、随分前に取得されたもので、同じような研究を行って、そして●違いなどを研究しているところです。状況は、それぞれ異なっています。

司会：どうぞ。

恩田：大変ためになるご講演ありがとうございました。例としてマップを出していただいたと思うんですが、ストロンチウムかなんかのゾーニングのほうです。これです。

D：これはセシウムです。私たち評価の結果を見ているんですが、こちら●で見えています。●における●を示しています。こちらでのいろんな種類の可能性を見えています。セシウムがアクション●どうなるのかということで●しています。こちらは 95 パーセント、キノコですが、それからこちらは 95 パーセントですが、このキノコに関して数字としては、こちらが出ているということです。これを超える、95 パーセントを超えるというところで、それからこちらが 5 パーセント以下ということです。こちらが確率論的な評価を行った結果なんですが、いろんな種類の森林、林産品を見えています。例えば木をさまざまなリスクで収穫する場合にはどうなるか。例えば収穫をしている際には、例えばベリーであるとかキノコに関して収穫をするとどんなリスクがあるのかということを見えています。こちらの地域、この集落におけるレベルで見えているんですが、こちらではマップをそれぞれの集落ごとに作っていくということが重要です。そしてこれは本当に重要なことです。というのはなぜかというと、ただのマップであるだけでなく 1 つの本になっていく。そしてそれによって実際にどんなふうにして使っていくべきなのか。林産品を何をしたらいいのか、例えば写真も載せて、このキノコだったら採ってよい、これは駄目ということをしかり載せていくということです。このような情報を乗せていくことはとても重要です。ただこれは将来的な森林管理の一環ということになります。すぐに、いきなりこのような形ではできないということになります。時間はかかります。そしてもっとしっかりとした完全なモデルを使わなくてはいけないということです。時間はかかります。

恩田：そのような図で、実際この森林のシナリオの中で、例えば後で切るとか幾つかシナリオを出されたと思うんですが、そういういわゆる樹木の利用についてもこういうマップというのができているということでしょうか。もしそうだとしたら、それをそのコピーなり PDF なり何か見せていただく可能性のあるものがありますでしょうか。

D：それは残念ですが、あるんですがハードコピーだけしかありません。PDF はないです。次回ですね。ただこちらでは、まだそれについては規制がありまして、そのような情報を全部必ず制限なく出すということができないということです。●のほうで、これについてご提供できるものが限られています。書籍になっているものがあるんですが、それであつたら差し上げることは可能です。ただこちらでは森林管理の一環としてやっていくんです。何とかトライしてみますけど、なかなかこちら、このようなものを出せるものではない。ロシアでは今、●に居てロシアに居ないので、そういったところでなかなかコネも使いにくいという問題があります。ただ、今言ってみれば反対側に行ってしまった人間ということになります。

ただそれでもハードコピーのほうは大丈夫ですので、お渡ししたいと思います。

恩田：わが国でもようやく、いわゆる林野庁等がそういったゾーニングを検討し始めたようなので、ぜひともよろしくお願いいたします。

02 : 05 : 03

D：でもこのような種類の情報ですが、これは皆さんのほうでお作りいただく必要がありますよ？ 例を出すだけで、こんなふうにやるんですということはお見せすることができません。皆さんのほうで、こういった状況をしっかりと捉えて作っていただく必要があると思います。恐らく皆さんのほうが良い作業をされるのではないかと思います。福島事故の後のほうが良い地図ができそうです。

司会：よろしいですか。他にありませんか。お願いします。

A：ありがとうございます。放射性核種、森林におけるモデリングに関心があります。今のご発表の中で木の蓄積だけを示されましたが、森林の中には低木とか灌木とか、それから土壌中の有機物などいろいろな要素があります。そういったところに関して、どの部分に最も蓄積するのかというような情報があれば教えていただけますでしょうか。木についてだけお話しされましたけれども、土について、あるいは土壌中の有機物についての情報もあれば教えてください。

そういった情報は持っております。それだけでなく。少々お待ちください。国際的なプロジェクトが実はあったんです。その問題を取り上げたものです。自分のしゃべっているのは●このプロジェクトでは10カ国ぐらいが参加して、それぞれの国のモデルを発表しました。そしてこの放射性核種の挙動について発表しました。そしてその汚染のシナリオなどが示されています。生態学的な情報、さまざまな森林●に関して示しました。＝モデラー＝に対してそれが示されたわけです。ブラックボックスのように、それが与えられました。その森林の生態学的な特徴について示されたわけです。有機層の深さとか、どれぐらいのバイオマスがあるのか、木、低木、そういったバイオマス量などについて提供されました。しかしその各々におけるダイナミックスに関しては提供されませんでした。なので、それを基に計算をして、そして独立した視点から比較評価をしました。実際のデータと共にです。その情報は、このレポートの中に取りまとめられています。よろしければ、この報告書を直接お渡しできます。コンピューターの中にこちらは入っておりますので。ということで、その森林に関しての論文いろいろ出ています。あるいは刊行物いろいろ出ています。今の質問に対応するような刊行物、各種ありますので、論文、文献、関連するもの、コンピューターの中にあるものをご提供します。それは皆さまで全体にお伝えしたいことです。必要な情報があれば、メールでお問い合わせいただければご提供いたします。こういった●全て、あるいはほとんど私のコンピューターの中に入っておりますので。

司会：ありがとうございます。他にありますか。よろしいでしょうか。Fesenko 先生、どうもありがとうございました。

それでは少し休憩を挟みましょうか。あんまり休憩が、すみません、さっきちょっと休憩

が長くてだれちゃいましたね。ちょうど予定どおり進んでおりますが、30 分から始めさせていただきますと思います。アナウンスしてなかったんですけども隣のお部屋、まだお茶とか隣、出したままですかね。ありますね。隣の部屋にお茶などありますので、よろしかったら飲んでください。

02 : 09 : 59

では 30 分から次、始めさせていただきますと思います。

00 : 01 : 29

司会：皆さんよろしいでしょうか。そろそろお時間となります。心なしか人が減ってしまった気が。そのまま続けてやればよかったんですけど。それでは総合討論を最後、少しだけさせていただきますと思います。きょう 4 件のご発表がありましたが、まずはそれについて何か質問、コメント、または何か思いついた、思い出したこと、言いたかったこと、言いたいことありましたら挙げてください。特にありませんかね。討論、質問、コメントの時間も十分に取られていたのでよろしいですか。お願いします。

A：きょう 4 人の方に、著名な方にいろいろお話を伺ったんですけども、純粋に海外の研究者の方から見て今回の福島事故について、すごい漠然とした質問になってしまうんですけど、どういうふうに外から見て感じておられるのかっていうのをちょっと少しずつコメントをいただきたいんですけども。具体的には、ちょっと聞きにくい。●どんなことでもいいので、外国の方から見た福島事故をどういうふうに感じておられるのかっていうのをちょっと聞きたいなど。

司会：ではお 1 人ずつに伺っていったらよろしいですか。まず Kelleher 先生から少しずついいのでコメントいただければと思います。

B：マイクが入っておりません。すいません。アイルランドでの意識としては、事故は最初は非常に遠く離れた場所で起きたと。その当時は、もちろん一般の人の意識の中にはありましたが、今はそんなにありません。昨日の 5 年ということで国内の新聞、メディアでも報道されてはいましたんで、それは違いましたが、研究という観点からわれわれが唯一、研究機関として放射線の測定を行っています。ですからわれわれ福島沿岸での測定もしました。ですからわれわれは関心を持っています。でも研究という観点、放射測定ということで実際のセシウム 134 などの環境の中での濃度を測っています。その事故に対する対応とか緩和策などについて、正しいか間違っているかは別として日本としては非常にうまく対応したと思います。正しく対応されたというふうに思っています。

00 : 05 : 23

日本の一般の人、失礼、日本の政府機関の対応は非常に立派だったと思います。公衆に対する線量は非常に低く抑えられました。それには多くの理由があると思います。そしてその修復の努力も非常に立派だったと思います。一体どこからそんなに予算が出てくるんだろうと思ったぐらいです。どうしてこれだけたくさんの緩和策、修復策が取れたのかと、財源はどこにあるんだろうと思いました。ただちょっと消費レベルが 1 キログラム当たり 100 ベクレルになぜ設定されたのか、ヨーロッパは 600 なのに、どうしてそのように設定されたんだろうとは思いました。何らかの影響が将来的にあると思います。修復のコストという意味で、後になってあると思います。もしかしたらこれによって難しくなるかもしれません。長期的には、私の希望としては興味深いデータが慢性の被ばく、そしてその低線量の影響について出てくればいいなと思っています。チェルノブイリに関する研究では、そこを見逃してしまったわけです。ですから興味深いデータが福島から得られればと思っています。いろ

いろと文献では意見が対立しています。低線量、低放射線量の環境に対する影響に対してです。文献の中で一部では非常に顕著な影響がある、非常に低い線量でも影響があると言っているものもあれば、長期的なデータ、チェルノブイリ、その他を見ると、それは本当なのかという疑問を呈するものがありますが、しかしながら比較する対象のデータがあまりないわけです。ですから、もしかしたらそれは正しいかもしれませんが低線量の影響の調査が本当に正しいということであれば独立にそれを確認できるか、あるいは疑問を投げ掛けるか、できることを期待しています。

私はもう 1 度強調したいと思いますが、非常に降水量が多いということ、そして急斜面であるということ、山が多い、そして平均気温が年間を通じて高いということ、そして生物活性が表層で、堆積物の表層度で高いということ、科学の観点からは、環境の自己浄化の能力は福島汚染地域では高いはずだと思います。チェルノブイリに比べると。またキシュテムのエリアと比べても放射性セシウムに関してはそうだと思います。それが第 1 点です。それからもう 1 つ強調したい点は、ガラス製の球状のホットの粒子、筑波で見つかったものですが、これ福島事故から出てきたものと。このガラス製のホットの粒子、これは全く挙動は分かっていません。チェルノブイリの後に沈着したホット粒子とは全く違います。そのホット粒子で核兵器の実験の後に沈着したものととも違います。筑波のような距離、つまり 170 キロ●から離れた所にあるときに、この粒子の寄与というのは低いはずだと思います。トータルの放射性セシウムの沈着物の放射能濃度の中での寄与度は低いはずだと思いますが、しかし近い所、福島の原子力発電所に近い場所では、その寄与度はもしかしたら非常に大きなもの、非常に重要かもしれません。

00 : 10 : 02

残念ながらあんまりこの方向については、進捗はありません。幾つかのグループも主には筑波の人たちがこの研究をしています、これは単独でやっている研究です。科学的な課題だと思います。この球状の粒子の挙動を解明するということ。将来的には何らかの研究ができればと思っています。私は非常にこの方向性での情報を得ることに興味を持っています。ありがとうございました。

私もチェルノブイリと福島の比較については全く同感です。降水量ということに関しても、それから = トム = さんがおっしゃったこともそのとおりだと思います。適切な対応を事故に対して行ったと思っています。ただ特に不利益な点というのは見当たりません、日本のアプローチの中で。ただ例外としては 1 つ、今このこの所でやっているところの最適化ということが必要かもしれません。でも最適化をするためには広範の情報が環境モニタリングから必要です。その場合に、このプロジェクトは非常に重要になります。やはりいかに修復政策を●に基づいて、いかに最適化するかということが重要です。でも汚染レベルの情報だけではありません。やはり環境そのものを理解する必要があります。環境の情報がなければ将来の放射性核種の福島の汚染地域での挙動は予測できません。そして一部の地域では核種の移動性が高い所、そして自己浄化が高い所もある。あるいは降水の多い所もあるん

ですが、しかしホットスポットもあります。つまりそういった自己浄化率が低い所もあります。ですから機微な感受性の高いエリアを特定する必要があります。放射性に対して感受性の高い地域を特定し、平均で周囲が、より濃度が高いということになります。トムが既にいろいろな問題について触れてくれていました。チェルノブイリの事故でいろいろな研究、たくさんの研究、そして生物に与える影響などについても貢献できればと思います。福島で始まった研究ですが、いろいろな憶測があります。非常に影響が低いレベルである。しかしながら論理的なアプローチを取っていないというの也有ります。ですからデータをレビューして、いかにデータが取得されたのか、コントロール対象は何だったのか、そういったことを考える必要があります。こういった科学、それも科学です。どういうふうにデータを整理するか、疫学的な調査と同じようなものになります。ホットで機微な福島の事故の汚染に関してはそのように思っていますが、本当にご支援をいただいて感謝をしたいと思います。福島、この汚染地区で科学が進んでいます。日本に多くの人が来ています。そして国際的な科学の協力ができているということを感じています。ありがとうございました。

司会：ありがとうございます。よろしいですか。今の聞いたかったことは聞けましたか。もし直接聞きたいことがあれば、この後もまだいらっしゃると思うので聞いてみてください。今のご意見、すみません、今のお話に関して何かご意見などある方いらっしゃいますか。よろしいですか。そうしましたら他に何か質問、ご意見あるでしょうか。よろしいですか。

00 : 15 : 02

今回はキックオフミーティング原子力人材育成ということで、われわれの大学、環境学研究所のほうで今後原子力災害、あつてはいけないことなんです、もう起こってしまったこの災害に対してどう対応していくとか、環境中の汚染だったり動物、それから人への放射線影響、そういうものをきちんと研究できる、調査できる、評価できる、予想できる人を育てようというプロジェクトなんです。皆さん、きょうご発表いただいたいろいろな国でも非常にシビアな汚染があつて、それをきちんと調査してどうにかレメディエーションしてこういう試みがされているわけですが、このような事故が起こる前、起こった後、どのように各国で、こういう研究をする人材を育てていったか、または育っていないという話だったらそれでもいいんですけども、それに関わる人々、若い人たちをどう育てていったか、また日本ではどう育てていくべきかなどありましたらお願いします。できればそれぞれの方にもう1度お聞きしたいと思います。あとは今の現状ですね。それぞれの国で放射科学だったり放射線に絡む環境科学の分野のリサーチャーというのはやっぱり多いのでしょうか、それとも少ないのでしょうか。現状をもしご存じでしたらお聞かせください。またFesenko先生はIAEAにいらっしゃるのでいろいろな国の現状をご存じだと思いますので、それも含めてもしよろしければお話しいただきたいと思います。

C：では私から。この緊急事態に備えるということについてですが、この中で私たちの組織のほうで今、緊急時の対応を考えていきます。私たちは、そのようなレスポンスチームというものをつくっているということです。そのチームの人たちというのは、例えば測定につ

いても長けていなくてはいけないし、またこの緊急対応の場合には迅速な測定というものがになってきますので、そのような放射能レベルというものを迅速に測定することができるような人が居なくてはいけません。またそのための装置も備えなくてはいけないということになります。何か緊急事態が起こったならば即座に対応できるようなことを実現しなくてはいけないということです。そのためには、この分散のモデリングも考えなくてはいけません。どんな形で分散していくであろうかということについて、例えば大気中に、あるいはいろいろな生態学的な活動の中で、どんなふうに動いていくのかということについても考えなくてはいけないということです。そしてまた、そういったさまざまな条件に合わせる形での気象学的な影響ということについても勘案できるような人材をつくっていかなくてはいけないということです。さらにどんな形で測定をするのか、何をどこで測定するのかということを考えていきます。こういった拡散のモデリングということですが、短期的にこれは考えなくてはいけないということに加えて長期的にもいろいろな視点を持つ必要があります。全て、われわれがどんな形で準備をするのかということに関わってきますので、防災という意味において人材を育成していくということは重要です。そしてまた放射能測定ということについても十分に考えていかなくてはいけませんが、残念ながら大学の中でそれを取り扱っている所は非常に少ないです。そこでこのような測定、あるいは緊急時対応について、実際には EPA の側で研究を行っているという状況です。環境庁に相当する所ですが、この中で、ある程度は成功を収めていると言ってよいと思います。私たちは、この放射線測定という部分に焦点を当てていくということが重要であると思っています。それプラス放射能、放射能科学ということについても同様です。私たちの研究機関の中にはたくさんの方がいらっしゃるわけなんです、チェルノブイリの事故以降に、この中で入ってきた方々の場合には、いよいよ退職を迎えようとしている、そろそろ引退の時期に来ているということです、それについてはもっと努力をしなくてはいけないということで、彼らの経験値をなるべく引き継いでいただくようにということで、採用がなかなか難しいんですが、その部分でいろいろな努力をしています。

私は、この緊急時対応ということについては一切経験を持っていないので、その点についてはお答えすることができません。アメリカにおいてもヨーロッパにおいても若い科学者のニーズが高まっています。

00 : 19 : 54

特に放射線防護であるとか、あるいはこういった放射線生態学の部分において大きな人材のニーズがあるんですが、もし欧州やアメリカで働こうと思ったならば職はあるということです。そしてその中で、いろいろな健康物理等についてもトレーニングを受けたり、あるいは職を得るということは可能だと思います。

私は、この福島大学の福島大学の代表ということでお話をさせていただきたいと思うんですが、この緊急時対応能力ということについてお話をしたいと思います。緊急時に対する備えということで、福島大学ではこの点についても対応能力を上げようとしています。この欧州

におけるいろいろなシステムから学んでいくという仕法です。このシステムですけれども、これは緊急時対応のためのシステムを作っていく、欧州におけるシステムがあるんですが、そこから学んでいくということです。その中には私たちの同僚の中にも参画をする人が何人も居ます。これが実際には1月でしたから2カ月前ということです。その際に最後の会議が行われました。そのプロジェクトの中では私たちの福島における関わりというものが報告にまとめられています。福島大学というのは非常に良い土台を提供するものということになります。つまり知識を交換していく、共有していく、そして緊急時対応に対しても他者、あるいは他の組織との間で情報交換することができる1つの土台ということになると思いますので、それを土台として1つ大きな動きへと広げていかなければいけないと思います。それをしっかりと推進していかなければいけないと私自身考えています。それから教育について、教育制度ということについてなんですが、他の国ではどんなことを行っているのか。まず放射線科学、あるいは放射線自体についてですが、これらは非常に重要な要素の1つと目されています。私たちは非常に強力な高校であるとか大学であるとか、モスクワや●あるいは●あるいはその他のいろいろな地域においてさまざまな学術機関が存在しています。これは1つの重要な方向で、学問上の方向付けであると考えられています。準備のできる人材を生み出すということです。もちろん歴史的な理由があるということは皆さんの想像に難くない部分であると思いますし、原子力発電所があって、そしてその中で私たちはいろいろな経緯があったが故に人を育てるということになっているわけです。このシステムはこれから先も堅持されるだろうと考えています。少しはレベル減っているんですが、これから先はずっと横ばいで進めていくことができると思います。ありがとうございました。

非常に興味深いテーマだと思うんですが、これはやはり多面的な問題として捉えるべきです。というのは、例えばいろいろな情報を得るということ、実際に事故が起こったときの情報をしっかり集めていくということが重要で、そしてそれに加えて十分な情報を集めた上で対処していくということが必要となってきます。そしてその上で非常に迅速に対応策を練らなくてはならないわけです。その意味で、この緊急時対応というのは非常に幅広いアプローチが必要となります。福島大学の中では、もう既に2011年の9月にはある程度の準備を行っていきましたが、その後にいろいろな意思決定が行われました。そしてその上で公衆への線量ということについて、セシウム等についてもいろいろな決定が行われていったわけです。そしてこのような情報、あるいはインフラ、人材の準備などがそれぞれ非常に必要になってきます。先ほどサポートについてお話をしました。こちらではさまざまな人々が福島で関わってきたということを申しましたが、チェルノブイリについても同様です。こちらの同僚からもいろいろ話がありましたが、キシテムについても同様です。情報をそれぞれの後ろの世代に送っていくということは極めて重要です。

D：国際的なコラボレーションというのも重要だと考えています。

00：25：00

多くの事故において、これは国境を超えて広がっていくということがあります。ですので、

適切な情報提供を国際社会に適時にやっていくということも十分に理解しなければなりません。その国にとってだけ重要なのではなく、近隣諸国にとっても原子力事故というのは非常に重要であるからです。ですからこれは非常に多面的な問題であって、そういった要素を全てカバーしていかなければならないと思っています。もう1点、情報についてですが、既に多くの情報が日本から提供されているということを非常にうれしく思います。特に初期のときの森林の情報などが日本の科学者から提供されている。これは非常に有益だと思います。それはモデルの改良にも役立ちます。ですから日本の貢献というのは既に非常に有意義なものとなっています。ありがとうございます。

司会：ありがとうございます。この分野に限らないかもしれないですけども、やはり若手の方が頑張って今後、世界のサイエンスを引っ張って、若手の方がって、ごめんなさい。私の立場から●自分も頑張ってサイエンスを引っ張っていかなければいけないと、あらためて実感しております。他に何かご意見、お願いします。

E：きょうは貴重なご講演ありがとうございます。日本では福島原発の事故から5年たった今でも、日本各地にある他の原子力発電所を今後どう動かしていくかっていうことがまだ議論の最中なんですけども、そういったときに、こういった専門家の方だけではなくて非専門家、一般住民の方にとってもすごく身近な問題だとあると思うんです。一方で日本、事故直後は一部の東京の大学が信頼を●というか、こういった事故をほとんど予測できなかったことですごく非難をされて、科学の信頼が一部失われてしまったっていう点もあるんですけど、そういった背景の中で、今後こういった研究の成果を専門家ではない人と共有していくのは●どういうことを気を付ければよいと思いますか。

D：非常に興味深いコメントであり質問であったと思います。まずは正直に、率直に話さなければならぬということだと思います。大学人として、本当に死活的に重要なことは透明性を保つこと、そして国民に対して率直にものを言うことだと考えています。自分の持っている情報を、より良く公衆と共有していかなければならないというふうに思っています。原子力に関して1つ問題があるとすれば、それはそのリスクを、つまり放射線、あるいはバックグラウンド放射線のリスクというのを公衆に長年十分に説明してこなかったということであります。今後、数世代それを変えられるかどうかということも疑問ですけども、やはり非常に透明に研究成果については公衆に明確に伝えていかなければならない、率直に伝えていかなければならないと思います。

一言申し上げます。福島、その他の事故においてはサイエンス的にはよく対処したと思いますが、われわれ科学者としてリスクコミュニケーションには失敗してきたと、いつもそこでくじっているというふうに思います。公衆が理解できるような形で説明するというのがいつも難しい。もちろん透明性というのは重要ですけども、われわれの組織の中で今取り組んでいるのはデータを全て公表することなんです。オープンデータと呼んでいますけれども、われわれが見ているデータ全て公衆にも見てもらうという取り組みをしています。1つ例を挙げますと福島事故の直後、われわれが持っているデータは全て公表

しました。モニタリングデータ、ヨウ素、セシウム、一部エアフィルターで補足しましたので、それを公表しました。

00 : 30 : 05

公衆にそれをコミュニケーションするときにわれわれは失敗したんです。科学的な記述をして公表したので人々が、それが理解できなかったということがありました。それが1つ反省点です。ですから公衆とのコミュニケーションについてはいろいろと改善していかなければならないと思います。福島の人たちと●非常にいいアドバイスをもらいました。「原子炉を、あるいは原子力発電所に地名を入れるのをやめろ」と地元の人は言っていました。われわれこれから一生、それから子の代、孫の代まで福島という地名が原子力事故と関連付けられてしまう。そしてそうすると、その地域の修復、それからリスクの低減、それからその地域のパブリックアクセプタンスが、もう非常に遅れてしまう。何年も遅れてしまうということになるんです。米を生産して、そこに福島産と書いてあると全くセシウムに、全く入ってなかったとしても、米を買う人は福島という地名を見て他の県産のものにしようと考えてしまうわけです。もし原子力発電所が単なる第1発電所とか、そういう県名が入っていない、地名が入っていないものであったならば、公衆の見方というのももっと迅速に回復したかもしれないということで、そういった基本的なところからまずやっていかなければならないと思います。リスクに対しての見方にも、それは影響を与えます。この福島県にとって非常に厳しい経済状況に直面していますけれども、そういったところも変えられたのではないかと思います。

司会：なかなか難しい問題ですね。サイエンティストも少なく、そこから出てきたデータがうまく皆さんに伝わらないとなると、もう壊滅機器の状態というか、なかなか難しい状況ではあります。それを何とか乗り越えていければいいなと思います。辻村先生。

辻村：皆さんから非常に多くの貴重なコメントをいただきました。特に最後のコメントも含めてですけれども、このプログラムは大学院レベルで環境科学の修士号、マスターを取らせるための通常のカリキュラムに原子力災害以降、主に学術的に推進されてきた研究成果を基に幾つかの試験に関する教育のコースを実習、それからレクチャー、講義、そして海外への視察、研修等を加えて人材育成をするというプログラムです。ただこれはまだスタートの段階ですので研究成果がこの過去、特に5年間にわたる研究成果を幾つか教育のコースとして当てはめているだけであって、まだとても系統立った教育コンテンツにはなっていないところだと思います。そういう意味で、私たちは本当にスタートに立って人材育成、教育のカリキュラムとしてはスタートに立っているだけだと思います。特に最後のところで議論になった、そういった科学的な知見というものの、リテラシーをさまざまな考えを持つステークホルダーにどうやって届ける、あるいは届けるというよりも自分たちも一緒に考えていくということについては、このプログラムではまだ含まれていません。ただし近年の大学院レベルの教育の傾向としては科学リテラシーの寛容の仕方や科学コミュニケーション、つまり科学的な知見をさまざまなステークホルダー、さまざまな人々にどうやって伝える

かという能力を寛容する授業というのはなり増えてきていますし、筑波大学でも大学院生の共通科目としてそういったカリキュラムがあります。ですので、そういったものに対する重要性はわれわれ十分に認識はしています。ただし、まだこのプログラムは不完全であることも一方で十分に認識していますので、きょうの議論、いただいたコメント等を十分に参考にして走りながら、少しでもいいものにプログラムを変えていく努力をするということはお約束をしたいと思います。ありがとうございました。

00 : 35 : 11

司会：ありがとうございます。

B：これまでのコメントに少し付け加えたいと思います。原則として、放射線というのはわれわれの周囲にあるリスクのたった 1 つに過ぎません。トムがおっしゃったように透明性は重要です。でも適切な情報を適切な形で公衆に届けなければいけない。科学としては、どのようにして情報を公衆に届けるかということも重要です。社会学からも学ぶことができます。協力して理論的なこと、そういったことに取り組んでいくわけですが、ただここで申し上げたいのはチェルノブイリの事故の後、6,000 人の人がチェルノブイリの場合、事故が起きたときに死亡したわけですけども、インドだったら 10 万人だったかもしれない。ですからこの信頼性が失われたということを言っていますが、情報環境リスクに関してどう提供するかということ、それは単に放射線だけではないということです。たくさんの多くの要因を比較しなければなりません。バランスの取れたアプローチをリスク評価に対して取らなければいけません。ですから他の全てのこと、科学の他の全てのことに関わってくるということです。

司会：よろしいでしょうか。そうしましたら、まだ話したいこともあるとは思いますが、まだわれわれのプロジェクトも始まったばかりというか 4 月に始まるんですけど、え？ 始まった。始まっていますね。始まるので、今後いろいろご意見などありましたら、ぜひよろしくお願いします。それではきょう 4 名の方、お話しいただきましたが、もう 1 度拍手でお礼を●。ありがとうございます。では閉会のあいさつを恩田先生にお願いしたいと思います。よろしくお願いします。

恩田：皆さま、本日はお集まりいただきましてどうもありがとうございます。今回、このプログラムをスタートさせるにあたり、まずは過去のさまざまな原子力災害が、どういったものであるのかっていうのを理解するっていう、まずその第 1 歩ではないかと思ひまして、正直、私の聞きたい話を聞かせていただける先生方に来ていただいた面もございますが、やはり結果として、さまざまな角度からの環境影響について勉強することができたと思っております。こういった原子力災害はセンシティブな側面もあり、ご発表の中の、かなり行間を読まなければならないところもありまして、その辺りはちょっとこれから隣で液体を飲みながらお話を聞くと、ビデオの回ってない所でお話を聞くというのが、より理解が深まるのではないかと思っております。まだスペースは大量にございますので、この後も少しお付き合ひいただければありがたいと思います。それではきょうは、どうもありがとうございます。

講演 日本語訳

The incident of Chernobyl and subsequent forest contamination issues
Prof. Sergey Fesenko (Environmental Lab. IAEA)

いました。

司会：きょうは皆さん長い間どうもありがとうございました。