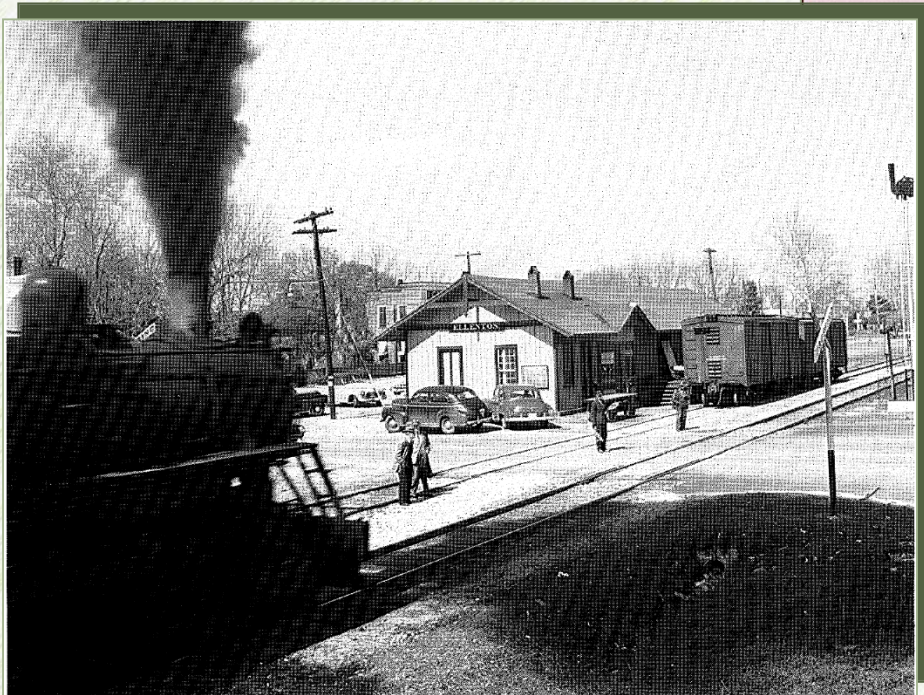
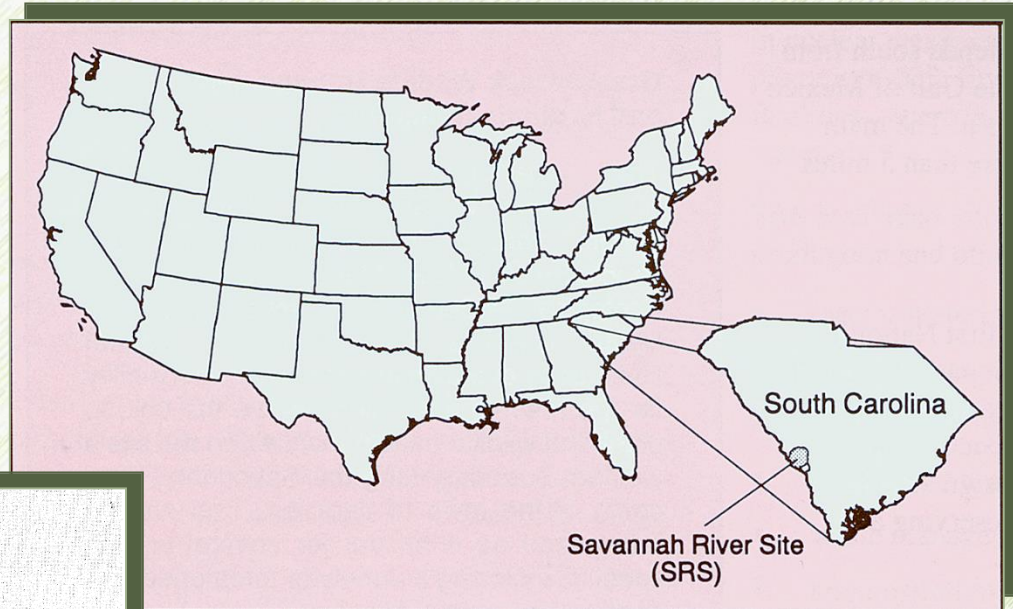


# U. S. Department of Energy's

## Savannah River Site

(1951 – 2001)



Thomas Hinton

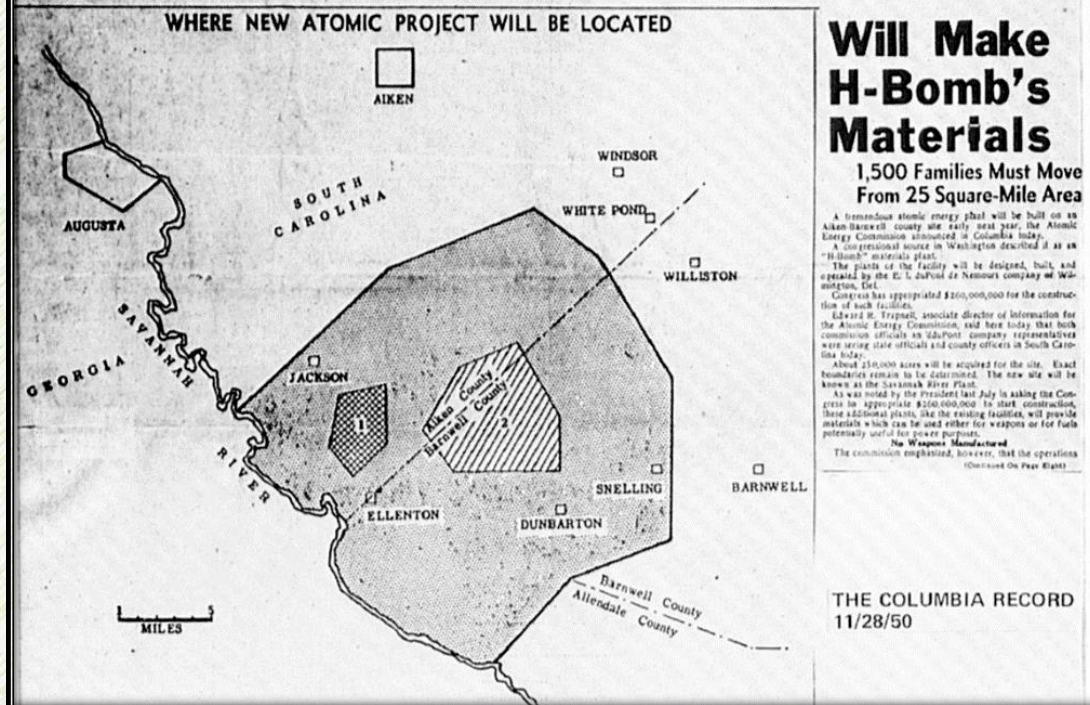


環境放射能研究所

INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY

# THE SAVANNAH RIVER SITE a nuclear production facility

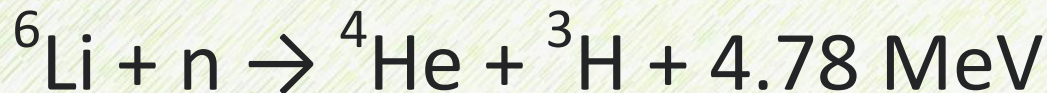
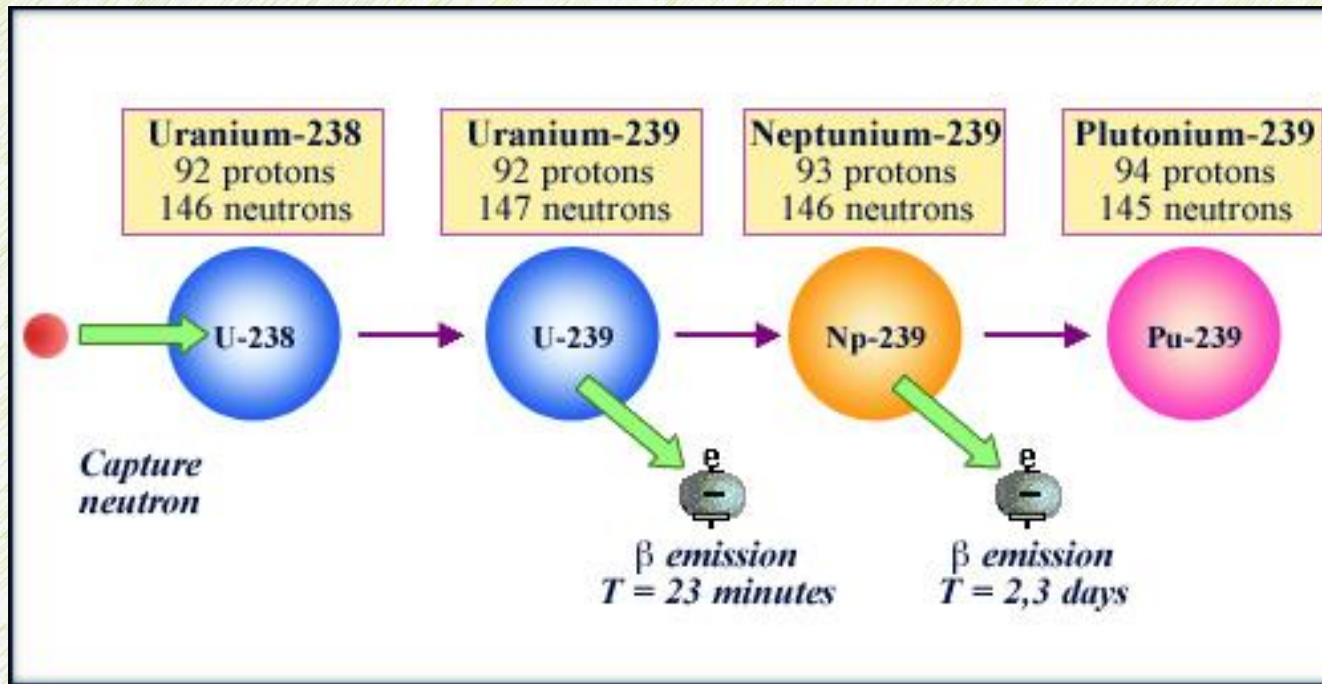
## GIANT ATOMIC PROJECT TO RISE NEAR AIKEN



- $^3\text{H}$  and  $^{239}\text{Pu}$  for nuclear weapons

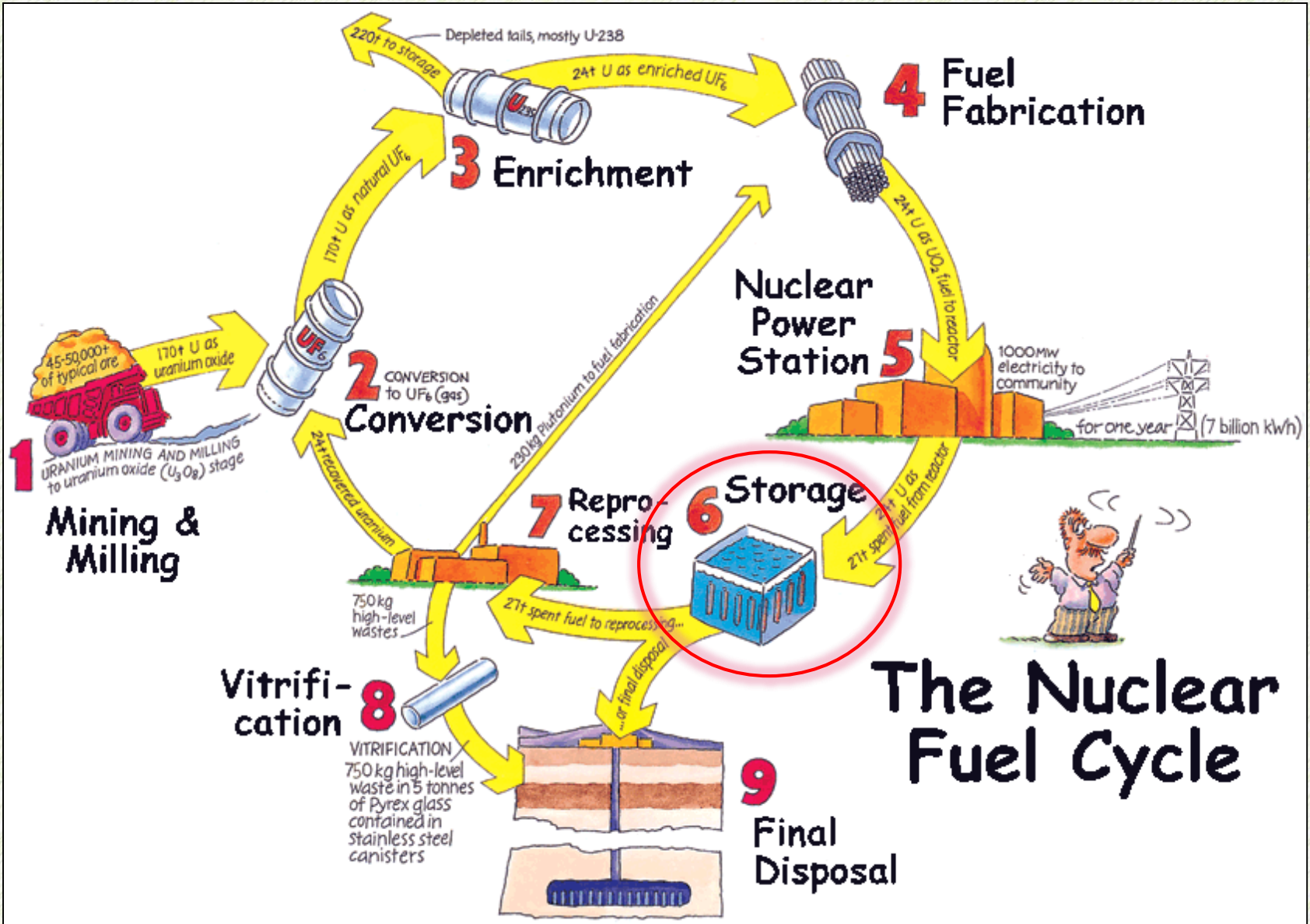
- $^{238}\text{Pu}$  for deep space missions

# Production of $^{239}\text{Pu}$



${}^3\text{H}$  produced by  
neutron activation  
of lithium

# Nuclear Fuel Cycle



# INDUSTRIAL COMPLEX



fuel and target rod fabrication facility



2 reprocessing facilities



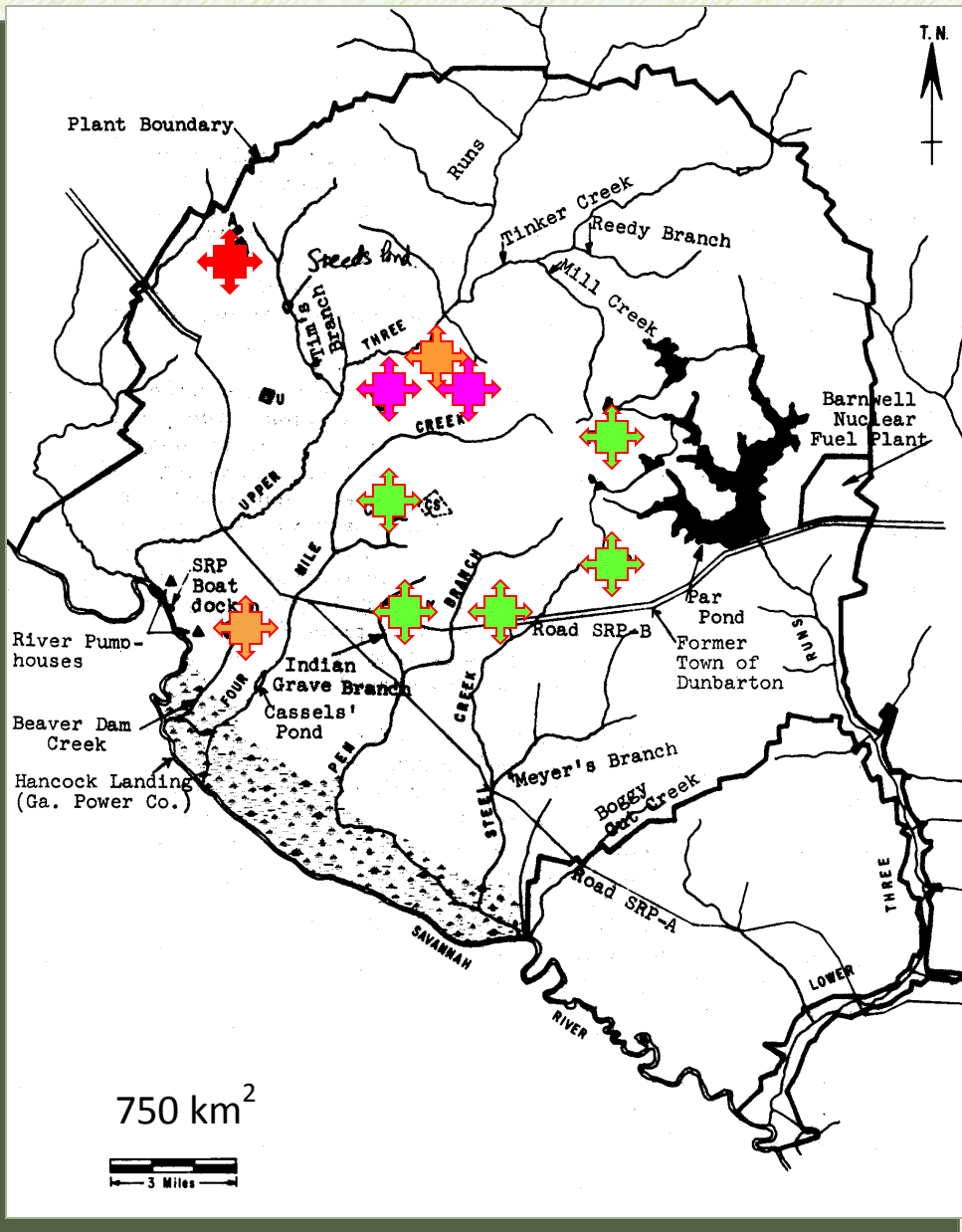
$^2\text{H}$  plant



5 nuclear reactors



waste mgmt. areas



# Radiation Dose to Public and Environmental Impacts caused by the SRS

- Radioactive releases
- Thermal discharges
- Metal and organic pollutants
- Changes in land use

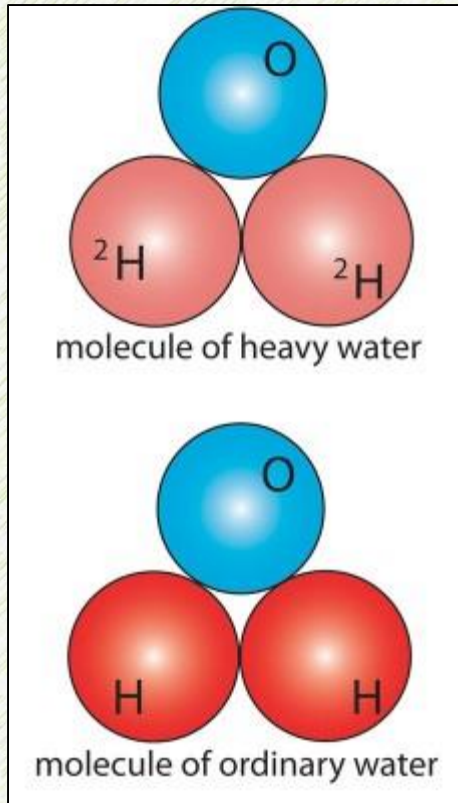


# S R S

Facility	Dates of operation	Notes
Heavy Water Plant	1952 - 1981	Heavy water (D <sub>2</sub> O) was concentrated from its natural 0.015% level in river water and used to moderate and cool the nuclear reactors in a closed-loop system.
Fuel and Target Fabrication	1953 to mid-1980s	Produced reactor fuel and target assemblies.
Nuclear Reactors	1953–1964	Irradiated the target rods to produce plutonium and tritium. All nuclear reactors have been shut down and are being decommissioned.
1) R-Reactor	1954–1988	
2) P-Reactor	1955–1985	
3) C-Reactor	1954–1988	
4) K-Reactor	1954–1968;	
5) L-Reactor	and 1985–88	
Chemical Separations Facilities	1954 to present	Reactor products were separated chemically in two reprocessing canyons.
1) F area		
2) H area		
Waste Management Areas	1953 to present	Includes various seepage basins, disposal pits, tanks and burial grounds.
Replacement Tritium Facility	1994 to present	Today there is no tritium production at the SRS. Tritium that was produced in the past is recycled, mixed, and reloaded in the RTF.



# Heavy water : primary coolant and moderator in SRS reactors

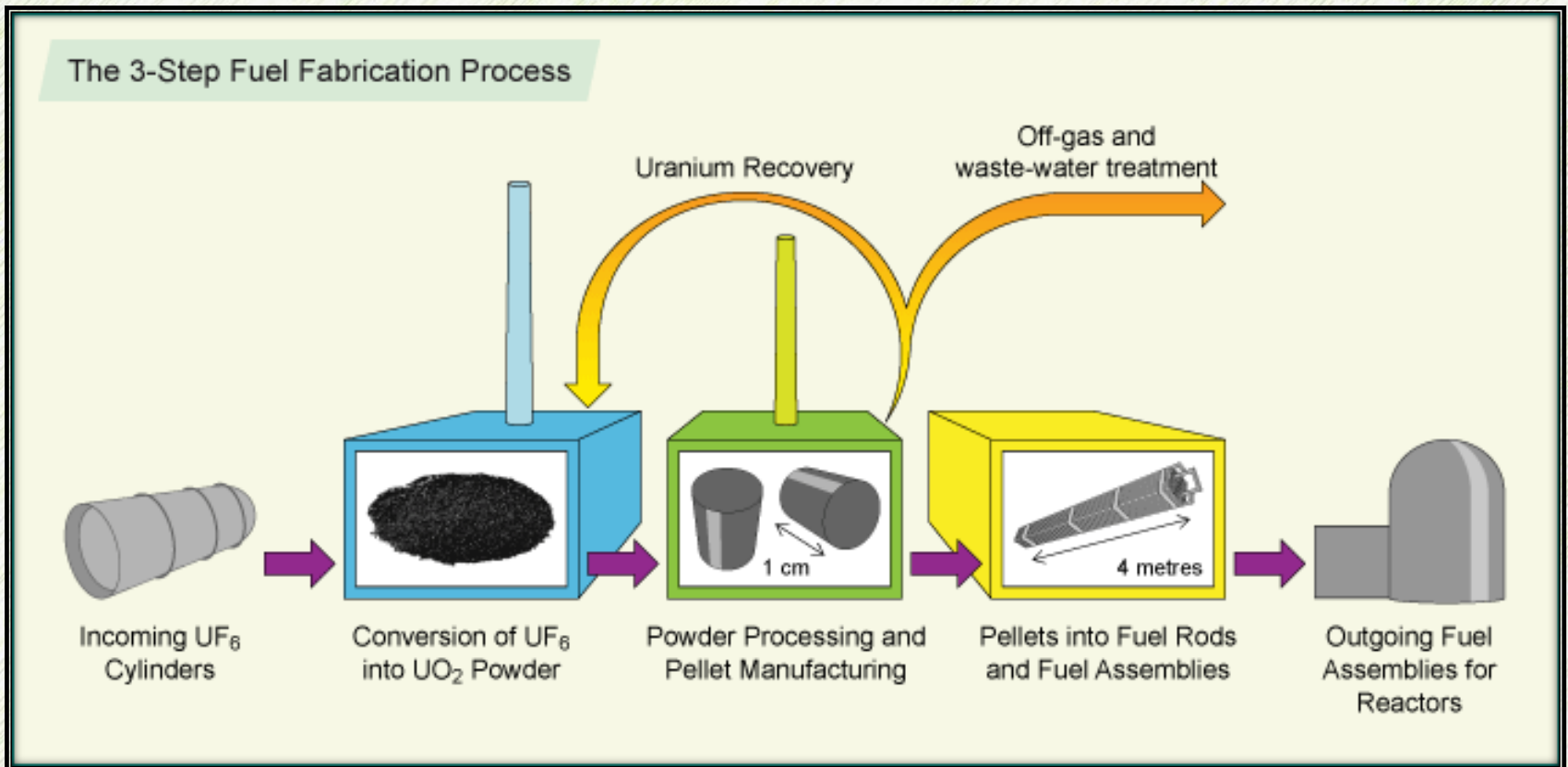


Deuterium Facility concentrated  $^2\text{H}$   
from its natural abundance of 0.015%  
in river water

Tritium ( $^3\text{H}$ ) was present in the moderator as a  
contaminant and was released to the  
environment when moderator leakage occurred  
( $\sim 50,000$  TBq / y)



# SRS made Fuel Rods and Target Rods



Largest releases of U of the SRS came from this facility  
(liquid effluents into a creek and into seepage basin)  
(peak U release occurred in 1969: 11,500 kg or 0.3 TBq)



# WASTE STORAGE

(Bebbington, 1990; DOE 1997)

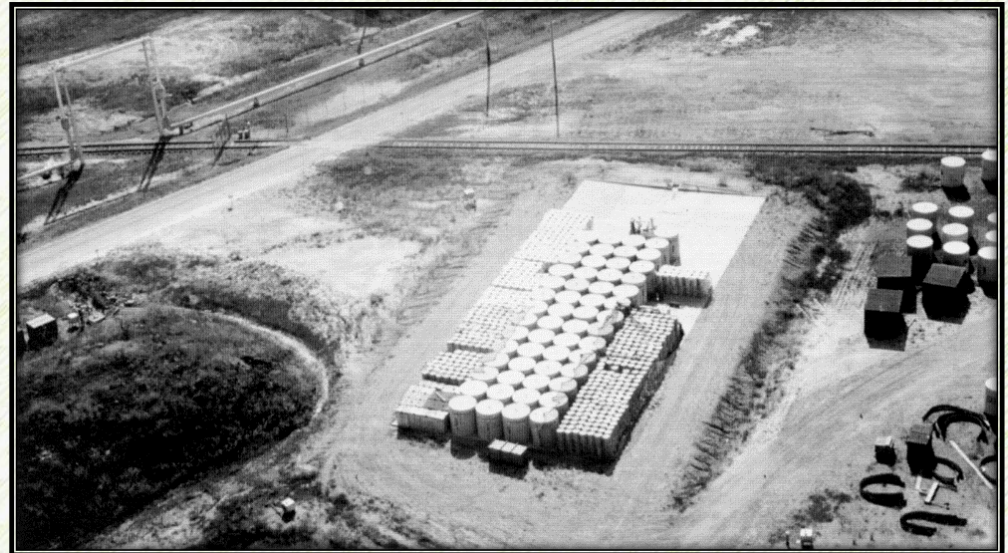
$\sim 2 \times 10^{19}$  Bq

> 90 % have  $T_{1/2} < 50$  y

Over 150 waste areas on the SRS

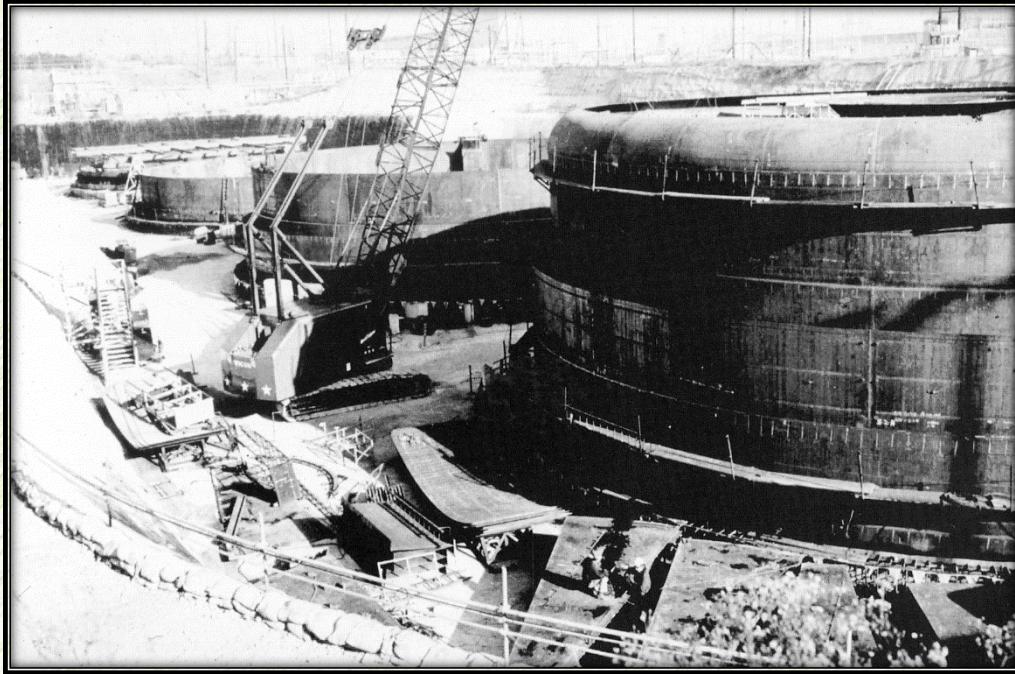
LLW  $\sim 680,000$  m<sup>3</sup>

Mixed-LLW  $\sim 7,300$  m<sup>3</sup>



# HLW TANKS

(DOE, 1997)



30 double-shelled,  
underground (each  
~ 4 million L capacity,  
150 TBq m<sup>-3</sup>)

Glass vitrification began in 1996

# Seepage Basins on the SRS for storing radioactive waste

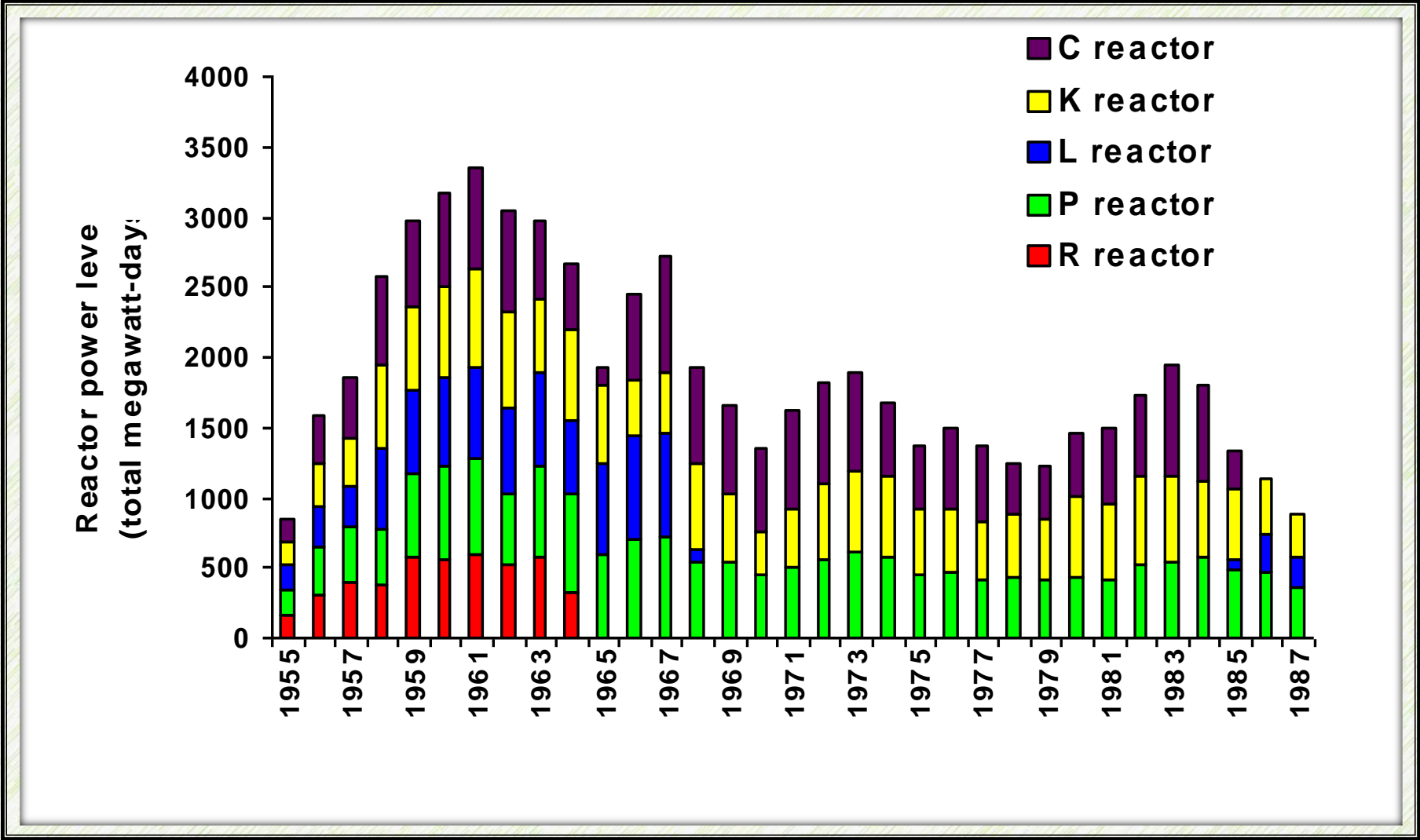


source of ground water contamination

# Five nuclear reactors on the SRS (1953-1988)



# Combined Reactor Output



(Rac, 1999)

The main source of RN releases to surface water from the reactors was from the 10 million liter disassembly basins



Used to store spent fuel and irradiated targets for 9 months

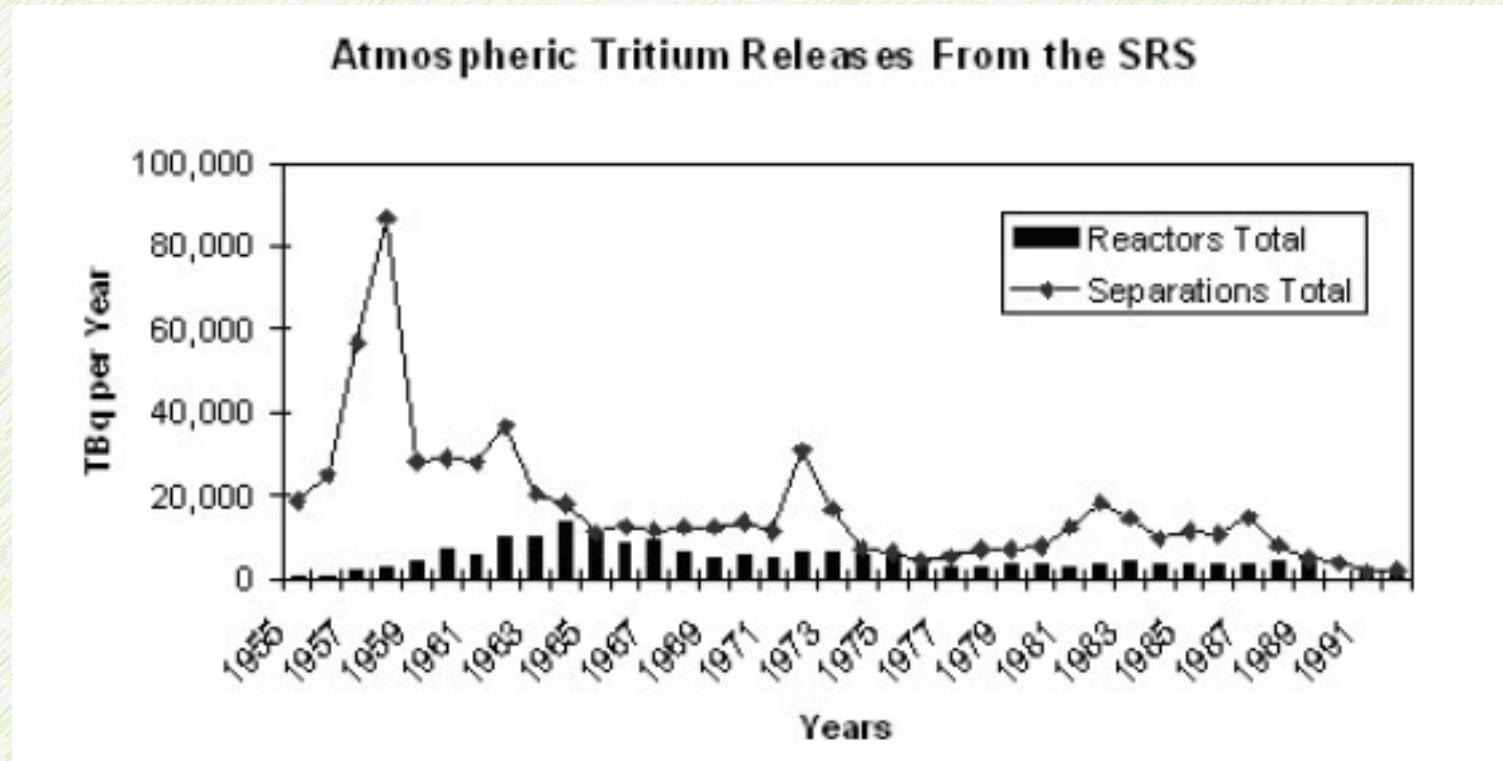
Purged to site streams up until 1978

A failed fuel rod accident in R-reactor in 1957 caused significant releases of Pu, U and other RNs into Lower Three Runs Creek and Par Pond





Reactors released large amounts of  $^3\text{H}$  (182,000 TBq from 1959 – 1992) and  $^{41}\text{Ar}$  into the atmosphere



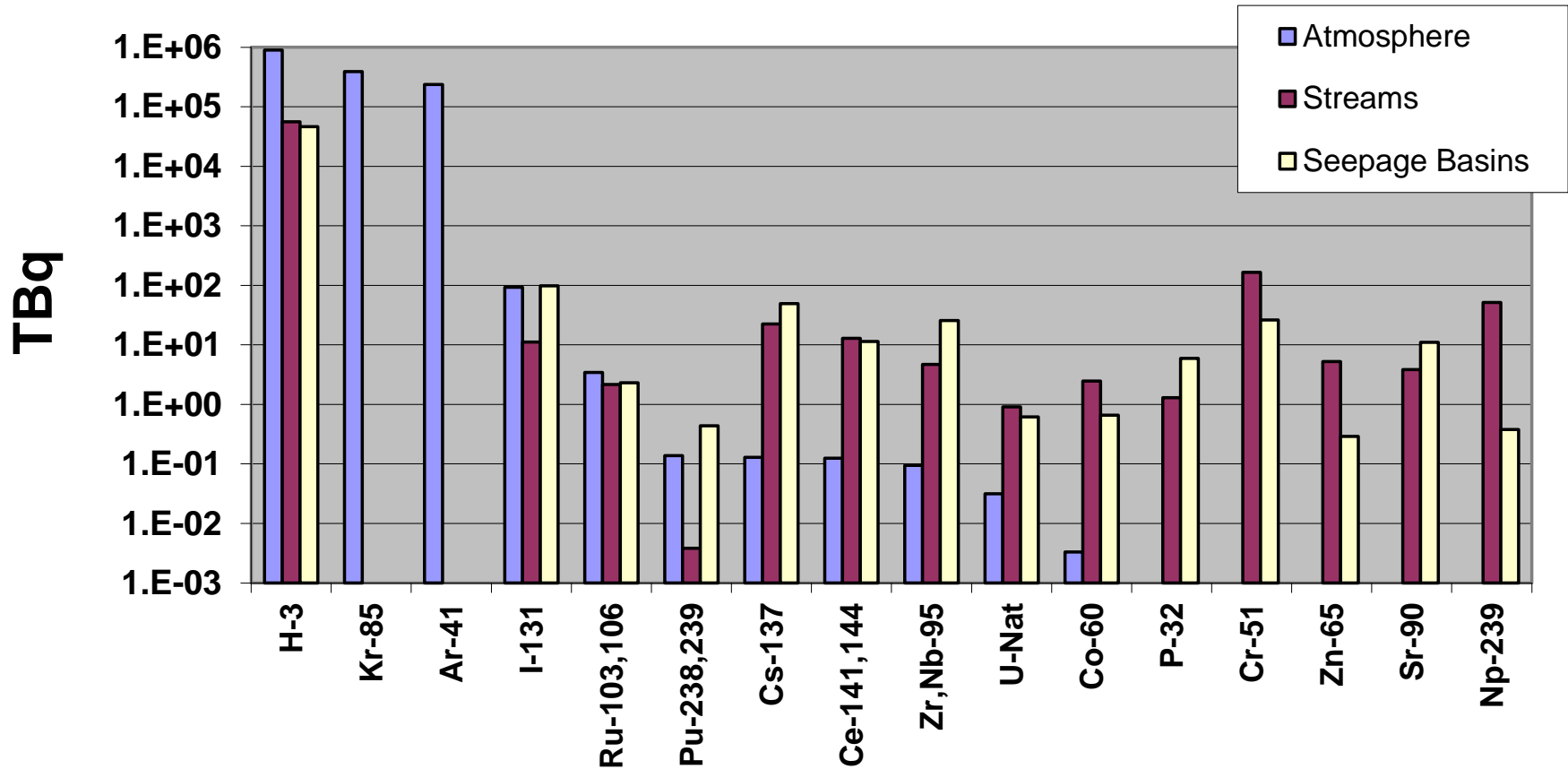
In the chemical separations facilities fuel and target rods were dissolved with strong acids and industrial scale radiochemistry procedures were used to obtain the products of interest



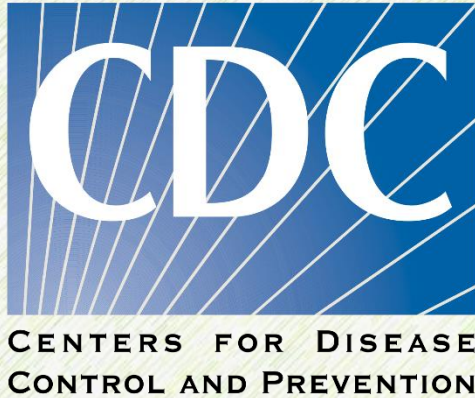
largest source of  
airborne  $^3\text{H}$   
releases on the SRS

# Total Radioactive Releases from the SRS

## Radioactive Releases (1954 -1988)



(RAC, 1999)



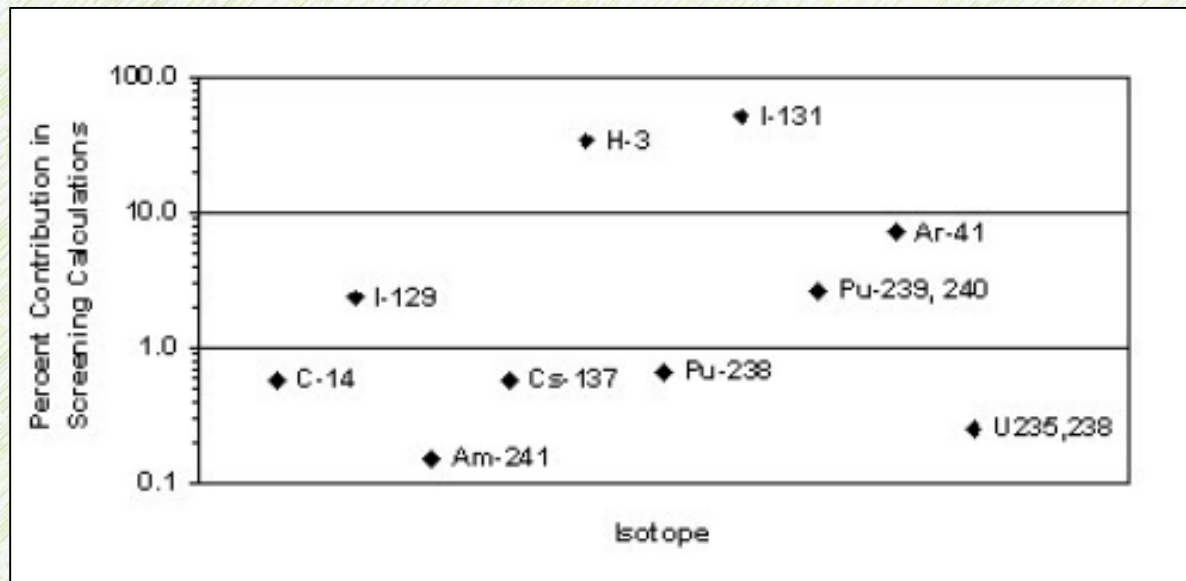
The CDC conducted a study of radiation doses received by the public due to releases from the SRS during its first 50-years of operation



RAC was the prime contractor for the CDC and did a complete source term evaluation in which all radionuclide releases were quantified based on extensive review of historic records

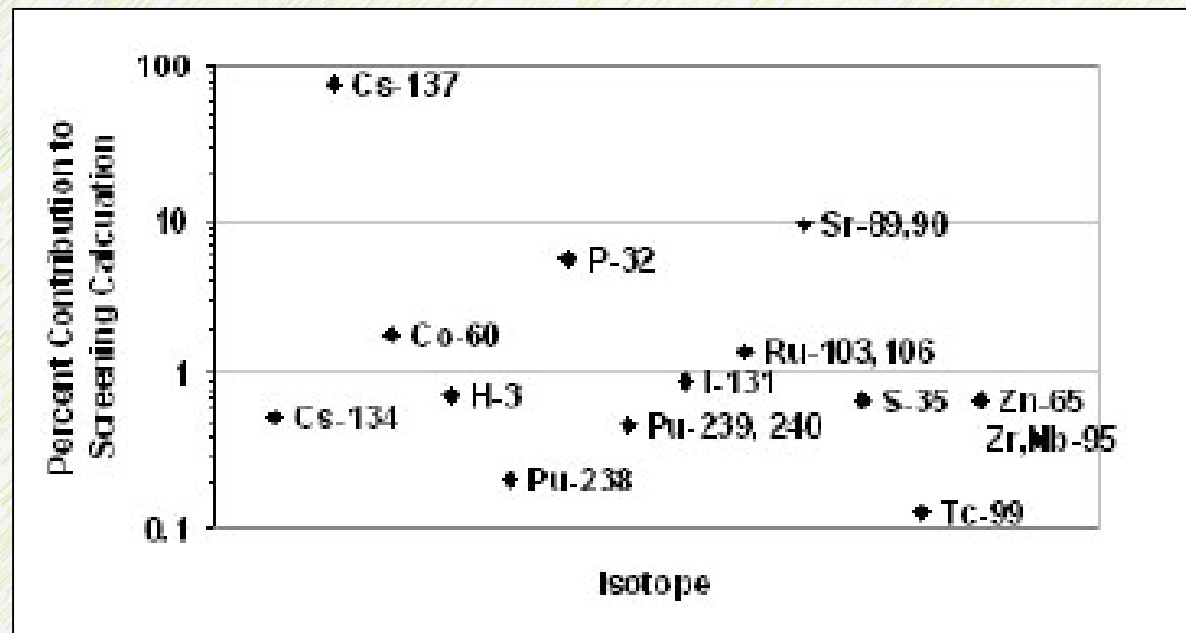
(RAC, 2001)

# Screening level human dose assessment: What RNs contributed most to the public's dose?



Relative importance of AIRBORNE releases as potential contributors to dose received by the public

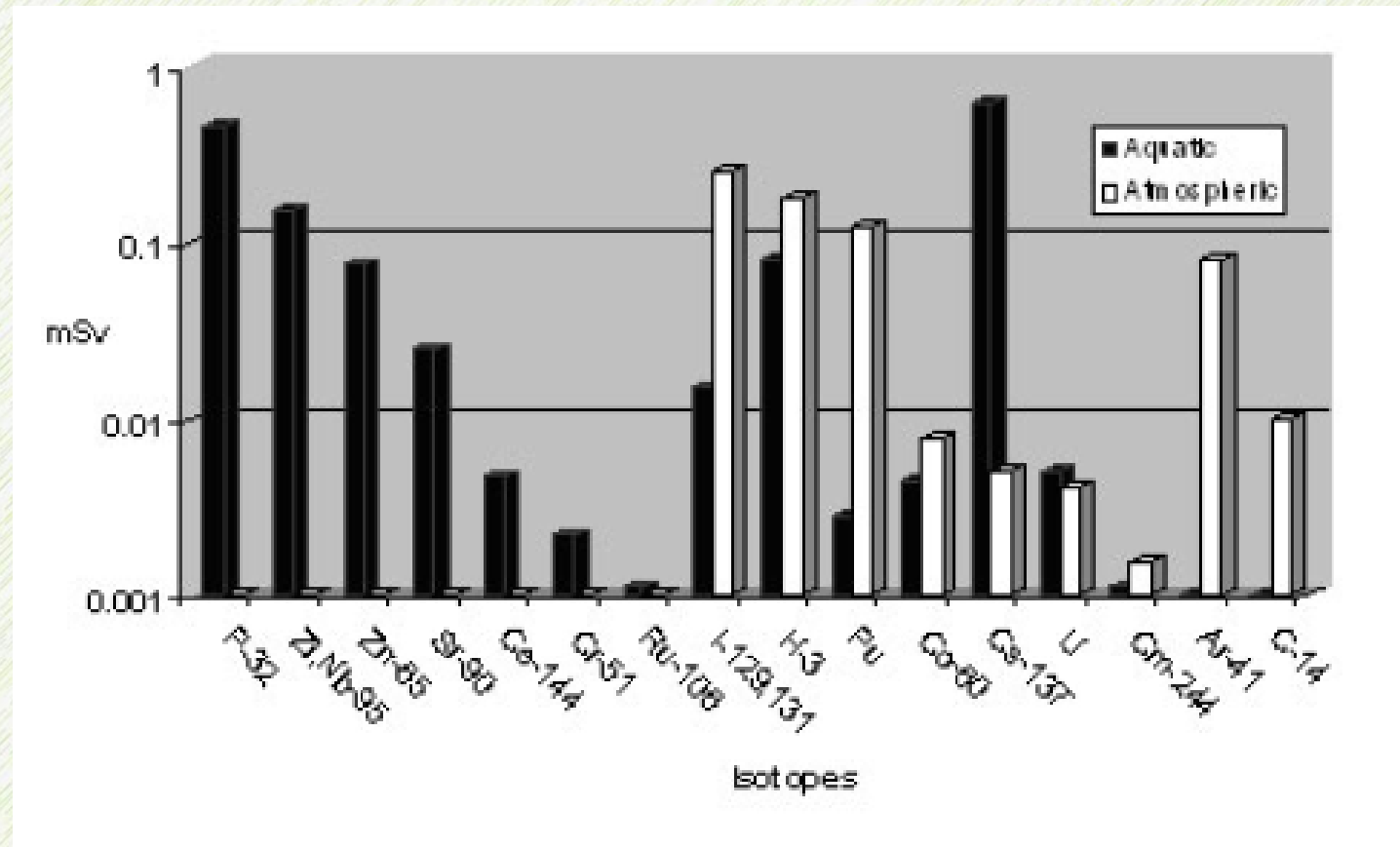
(RAC, 2001)



Relative importance of AQUATIC releases as potential contributors to dose received by the public

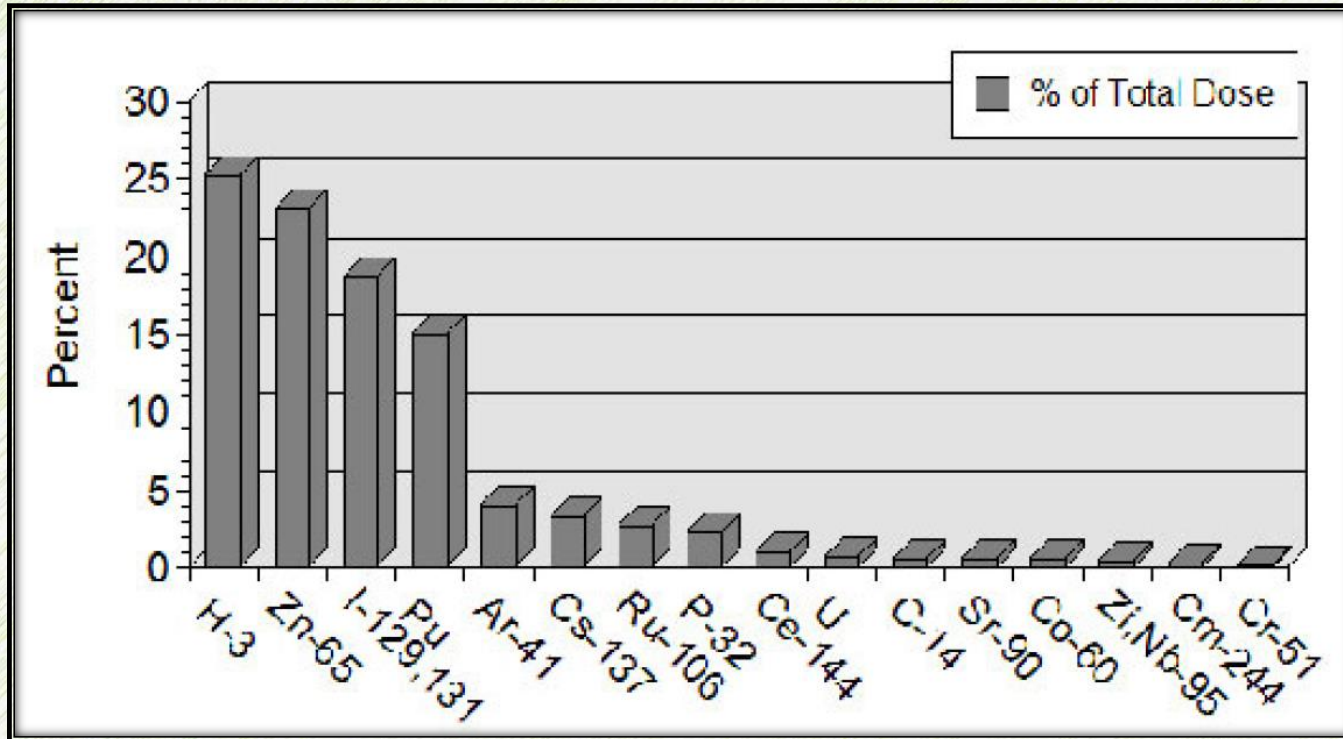
# Dose (mSv) to hypothetical, maximally exposed individual residing next to the SRS from 1954 to 1996

(Carlton, 1998)

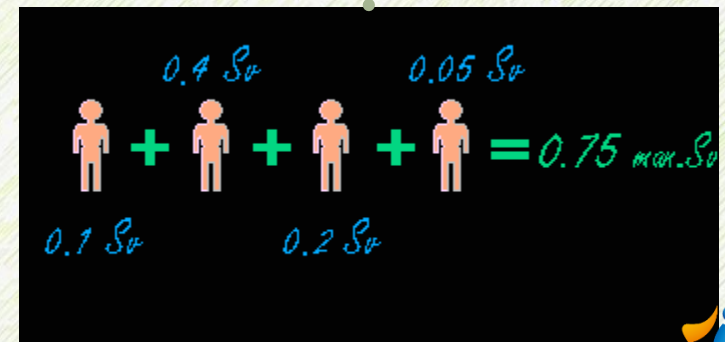


# Population dose from SRS operations (1954 - 1996) for atmospheric and aquatic pathways combined

4.9 person - Sv

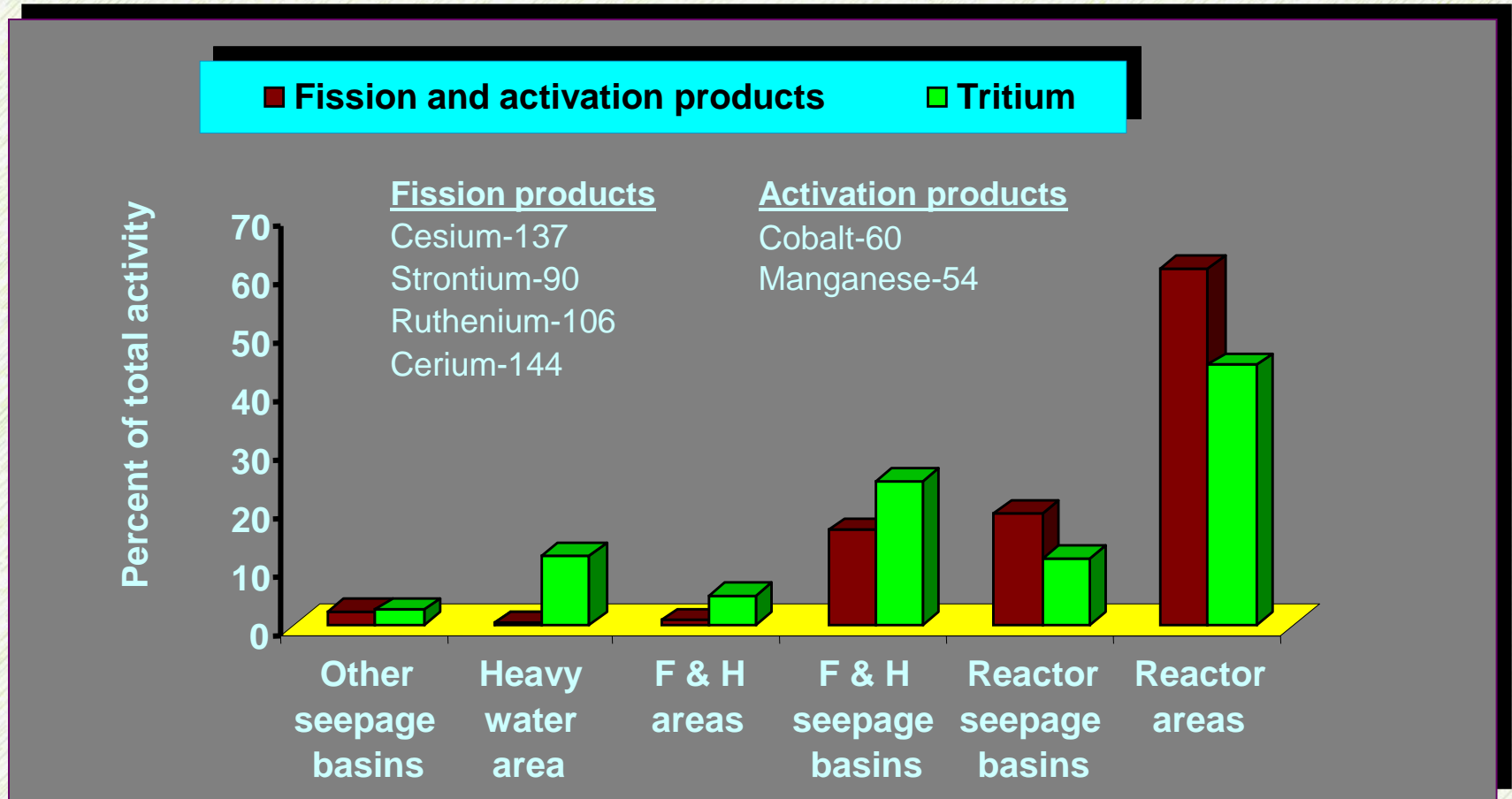


(Carlton 1998)



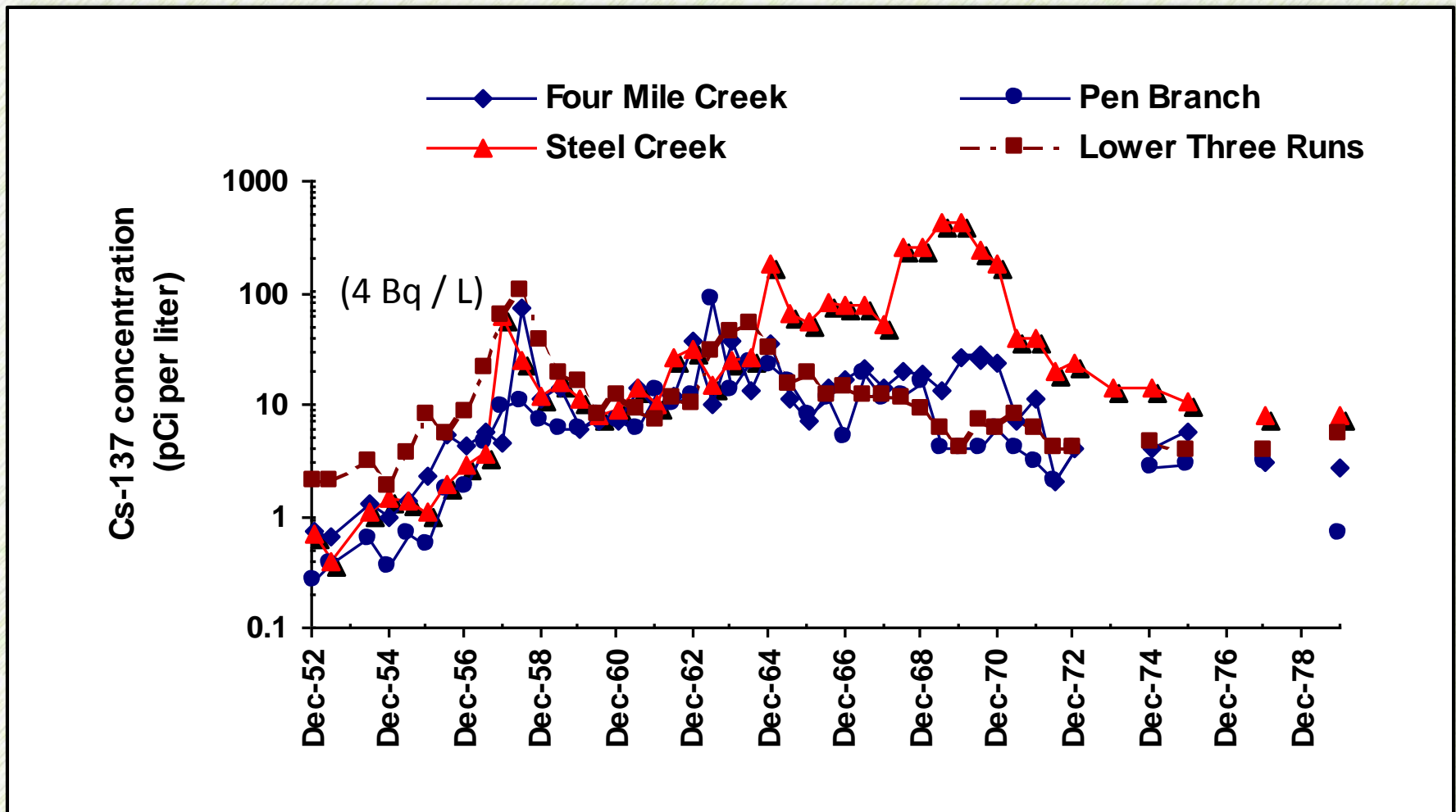
# Environmental Impacts from the SRS

## Radioactive Releases by Facility



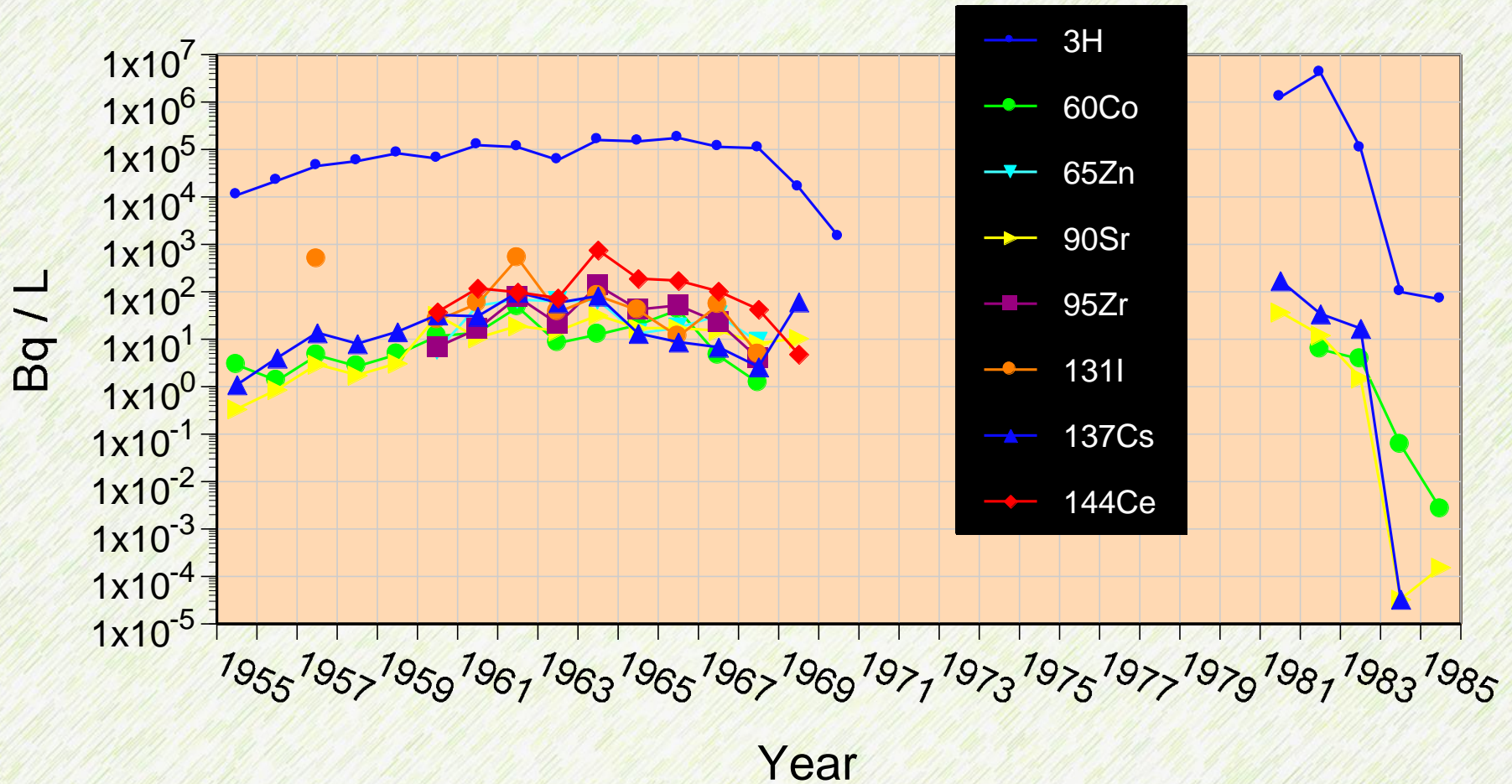


# Concentration of $^{137}\text{Cs}$ in SRS Streams



(Rac, 1999)

# Concentrations of Radionuclides in Steel Creek Water



# DOE's Biota Dose Assessment Method

- Derived Biota Concentrations Guides (BCG) based on conservative input parameters
- Contamination at the BCG level results in dose rates equivalent to the IAEA, ICRP guidelines
- Calculations consider internal and external exposure pathways

# DOE Bioconcentration Guides (BCG; Bq / L)



<b>Isotope</b>	<b>Aquatic</b>	<b>Riparian</b>
Cs-137	40	2
Co-60	100	200
Sr-90	2000	10
H-3	200,000,000	10,000,000

ICRP (1977, 1991)

NCRP (1991)

IAEA (1976, 1992, 1999)

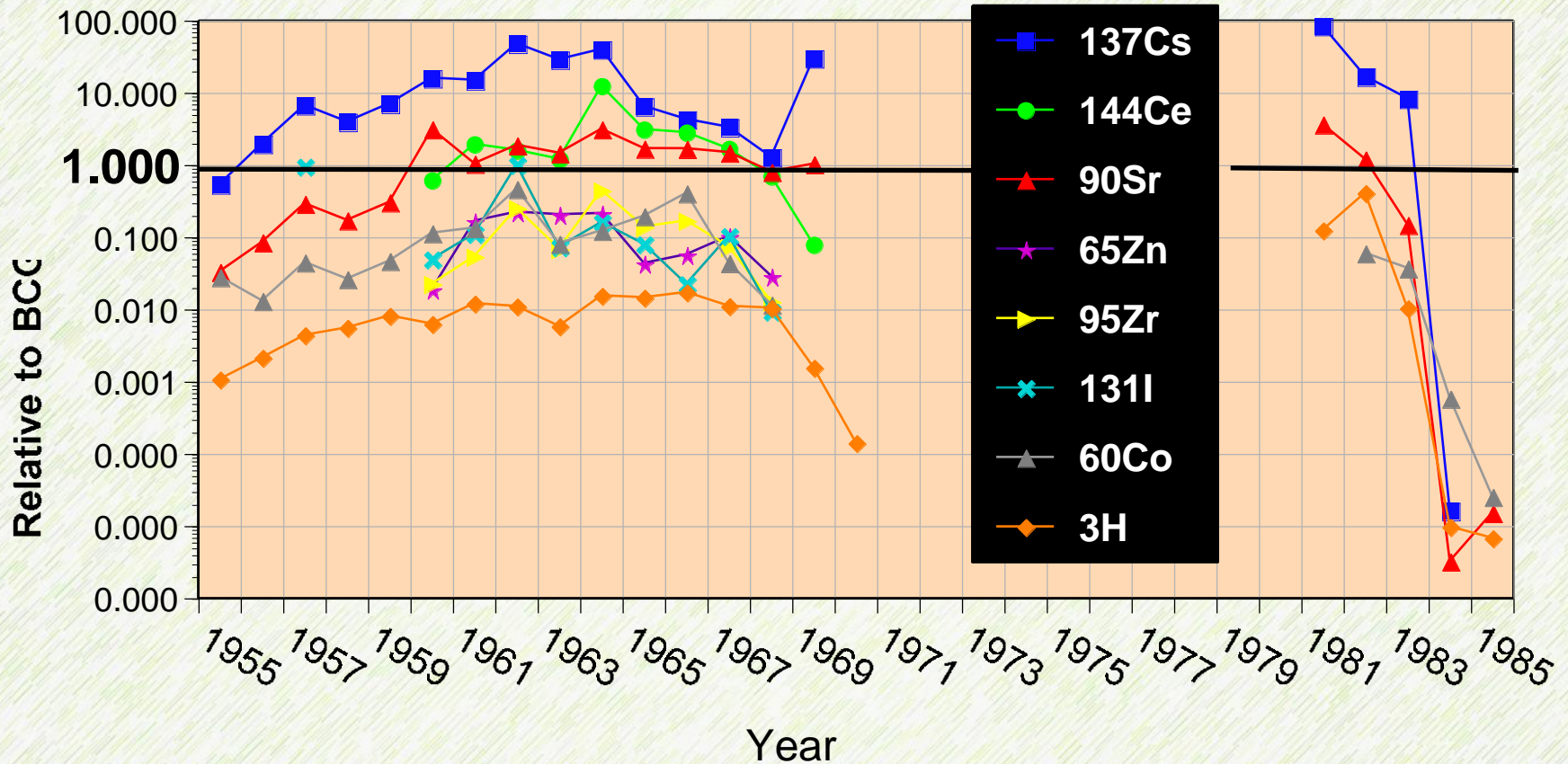
Suggested **DOSE LIMITS** for *maximally exposed individual* that are thought to ensure *protection of the population*

**1 mGy / d** : terrestrial animals

**10 mGy / d**: aquatic animals, terrestrial plants



# General Screening Results based on Radionuclide Concentrations in Steel Creek

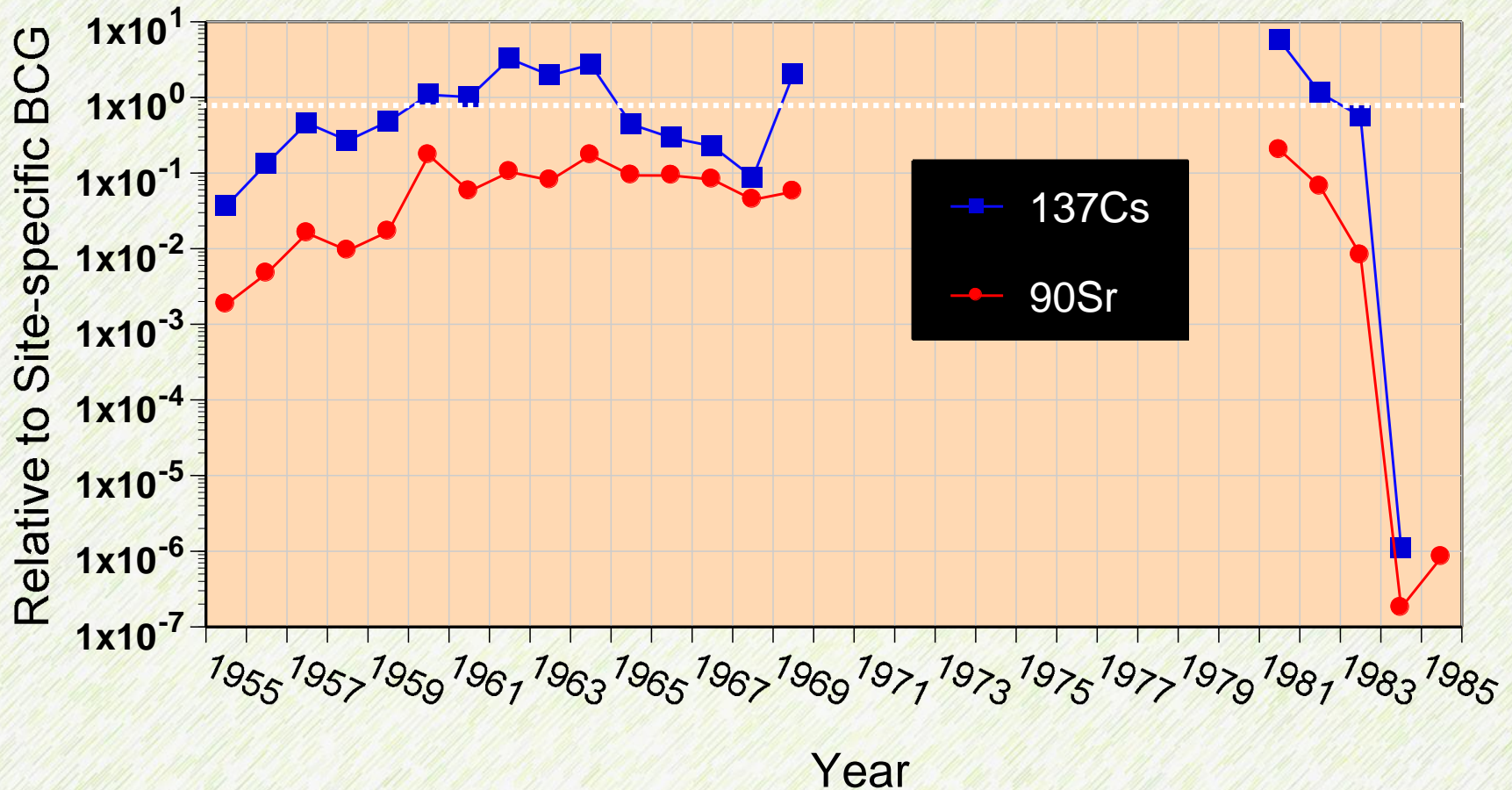


# Distribution Coefficients

(Kd; mL / g)

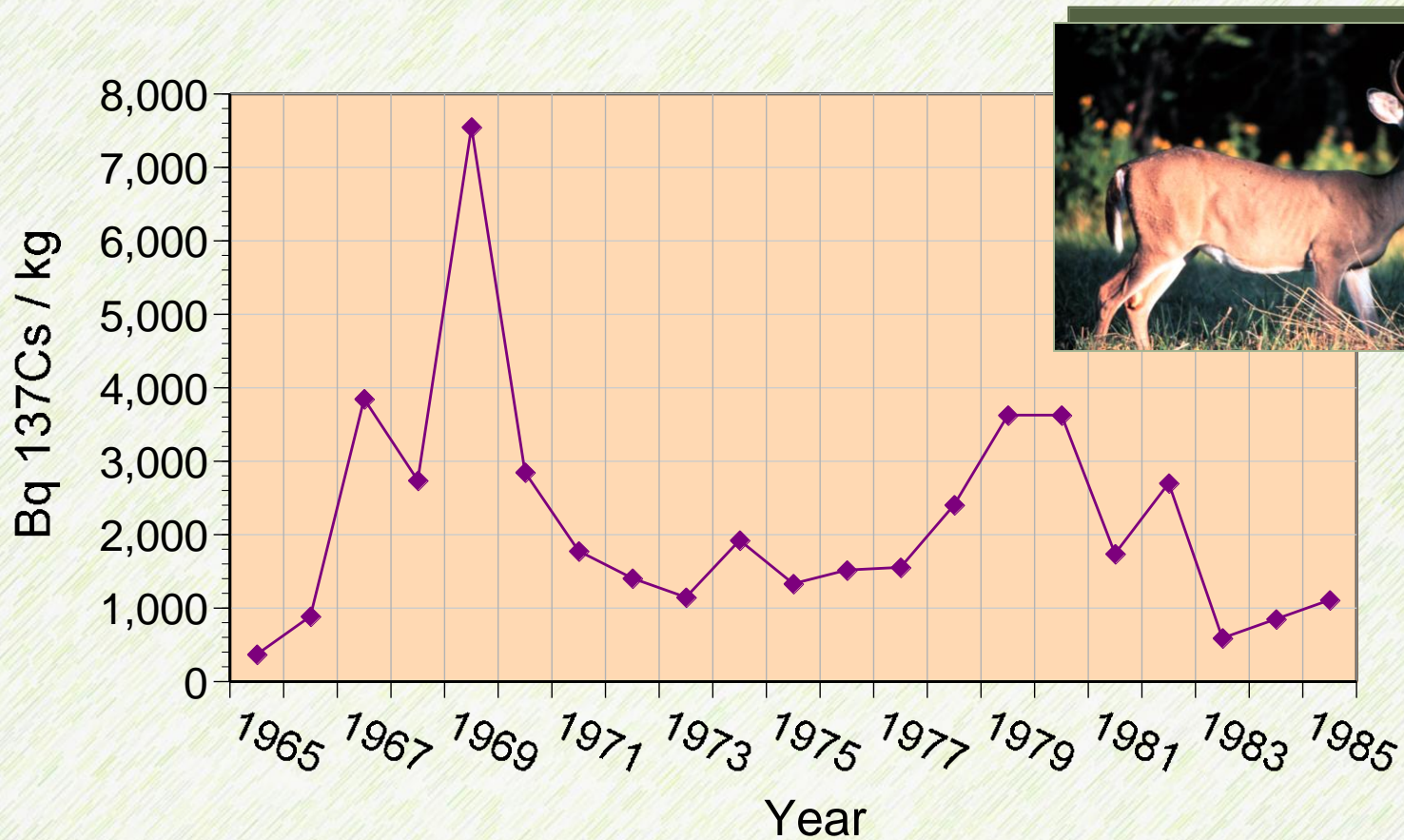
Isotope	Conservative	Realistic
Cs-137	500	32,000
Co-60	1,000	30,000
I-131	10	200
Sr-90	30	1,200

# Site-specific Screening Results Based on Radionuclide Concentrations in Steel Creek



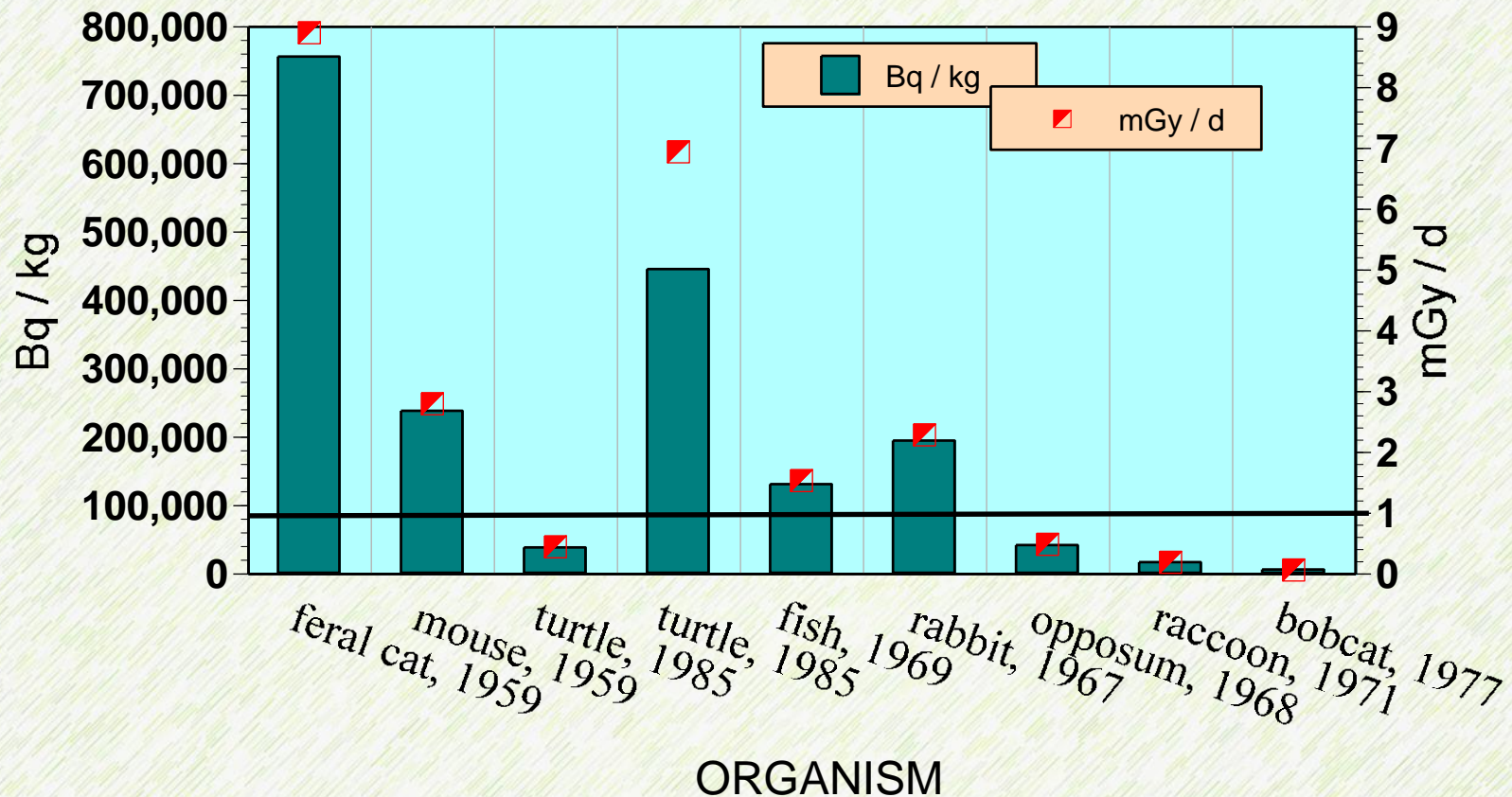


# Maximum $^{137}\text{Cs}$ Concentrations in SRS Deer



Maximum concentration would have to be 10x greater to cause a 1 mGy / d dose rate

# Maximum dose rates observed in various animals, based on measured activity concentrations



# Summary of Radiological Releases

- Majority of radiological releases were from reactors and entered site streams
- Largest doses were associated with animals entering seepage basins
- Some riparian animals received doses in excess of 1 mGy / d
- No evidence that dose rates were large enough to cause mortality

## Uncertainties

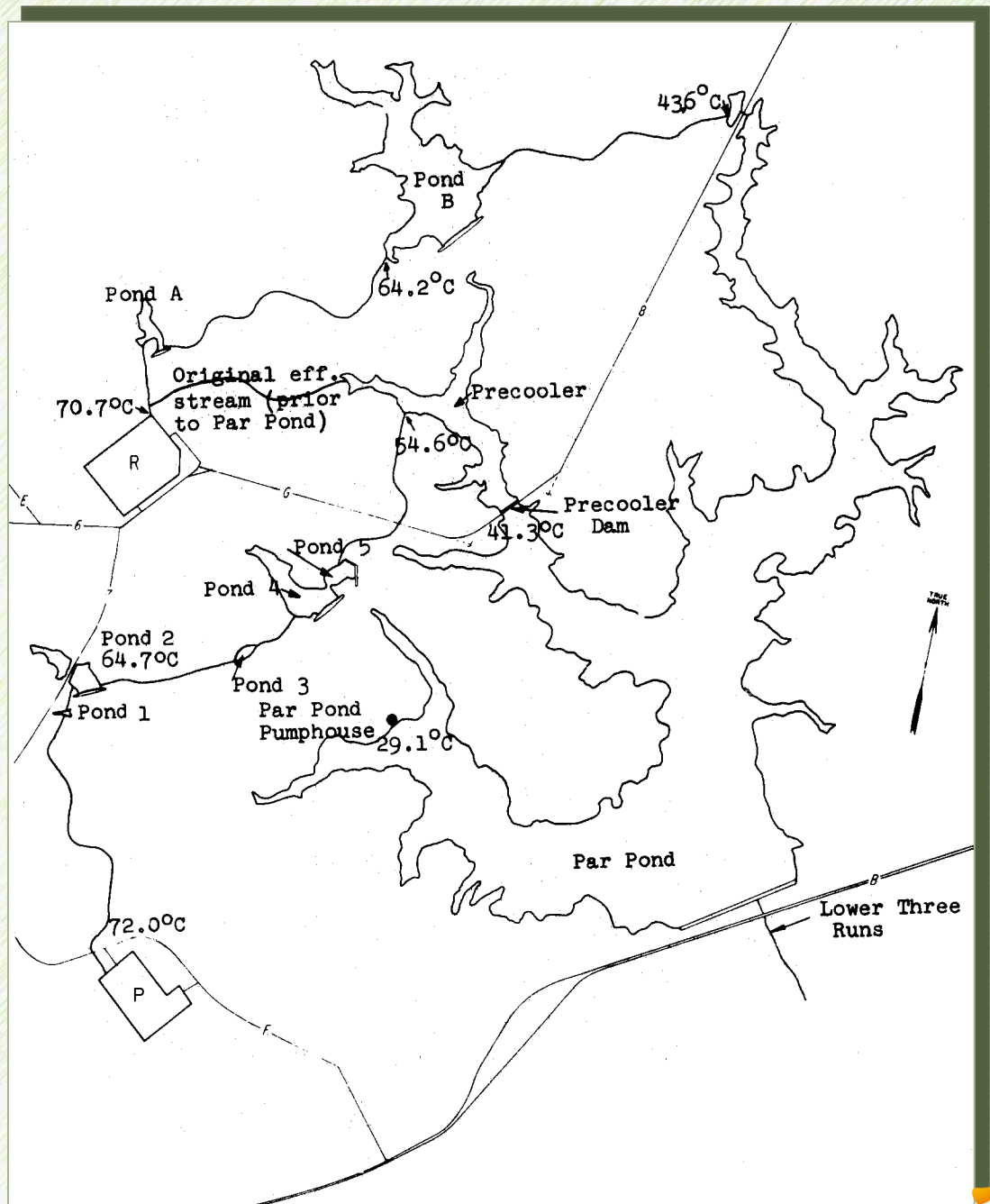
- Considerable uncertainty about releases of, and doses from, short-lived isotopes
- Some potential important isotopes were not in DOE's data base (P-32, Ru-104 & 106, S-35, Cs-134)
- Calculations were based largely on annual release rates that averaged exposures
- Effects of chronic, low level exposures are not well known



# Degradation

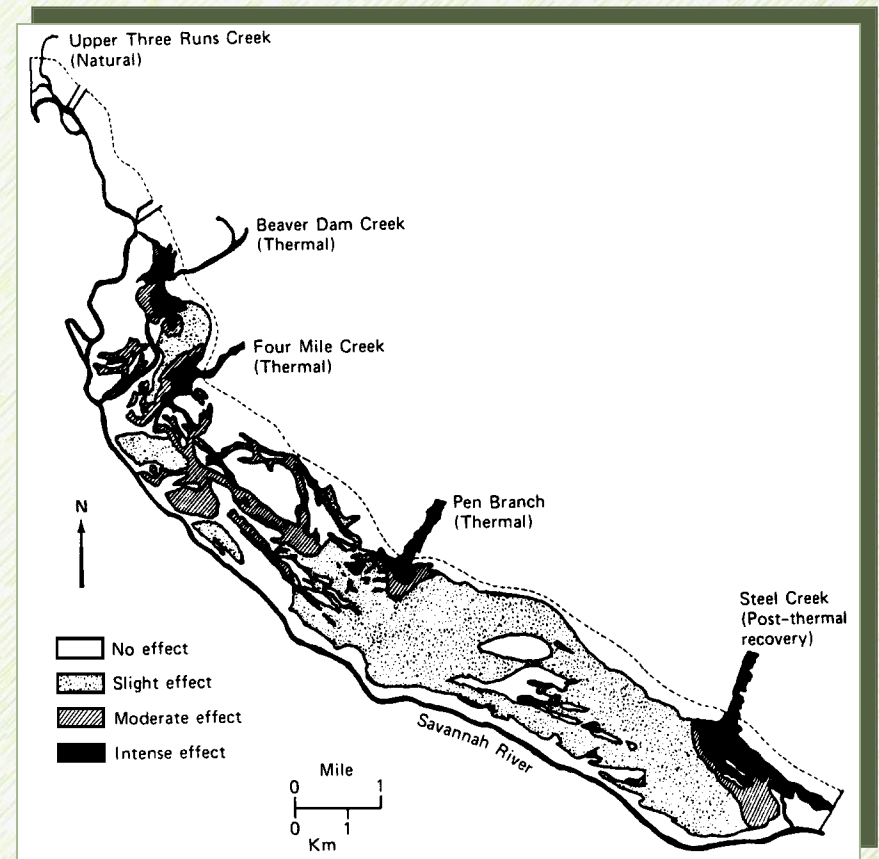
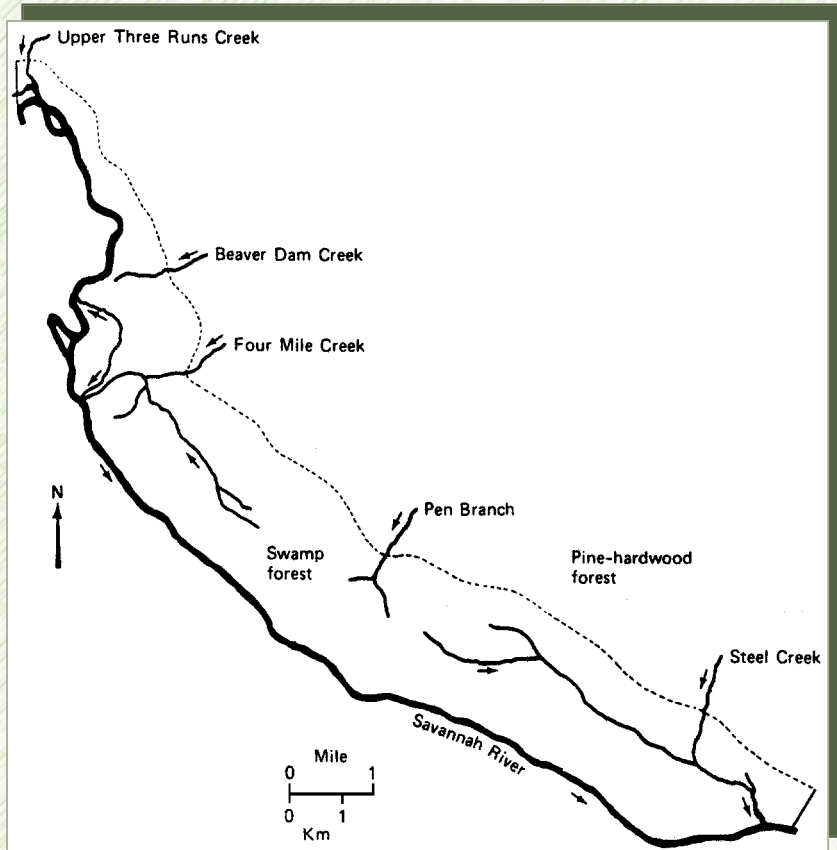


# Thermal Effluent



(DuPont, 1972)

# Thermal Effects



# EFFECTS to STREAM COMMUNITIES

woody plant species

(Shartz et al. 1974)



diversity of waterfowl

(Brisbin et al. 1974)



amphibian  
abundance &  
diversity

(Parker et al. 1971)



fish abundance &  
diversity

(Gibbons et al. 1980)



parasite

loads (Eure & Esch,  
1974)



aquatic insect  
species:



natural (54)

post-thermal (45)

thermal (22)

(Howell & Gentry, 1973)



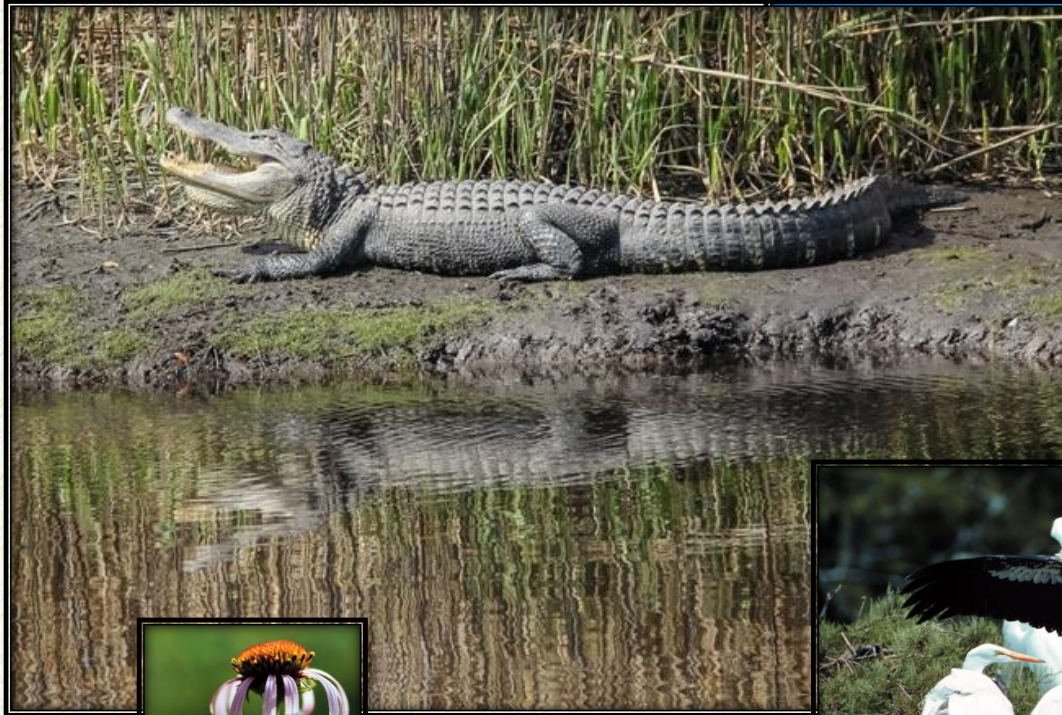
# Land Use





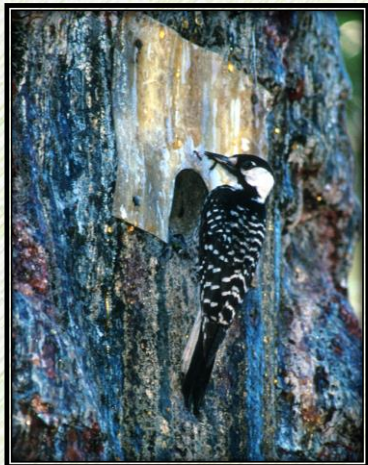
National  
Environmental  
Research Park

Alligator



Bald Eagle

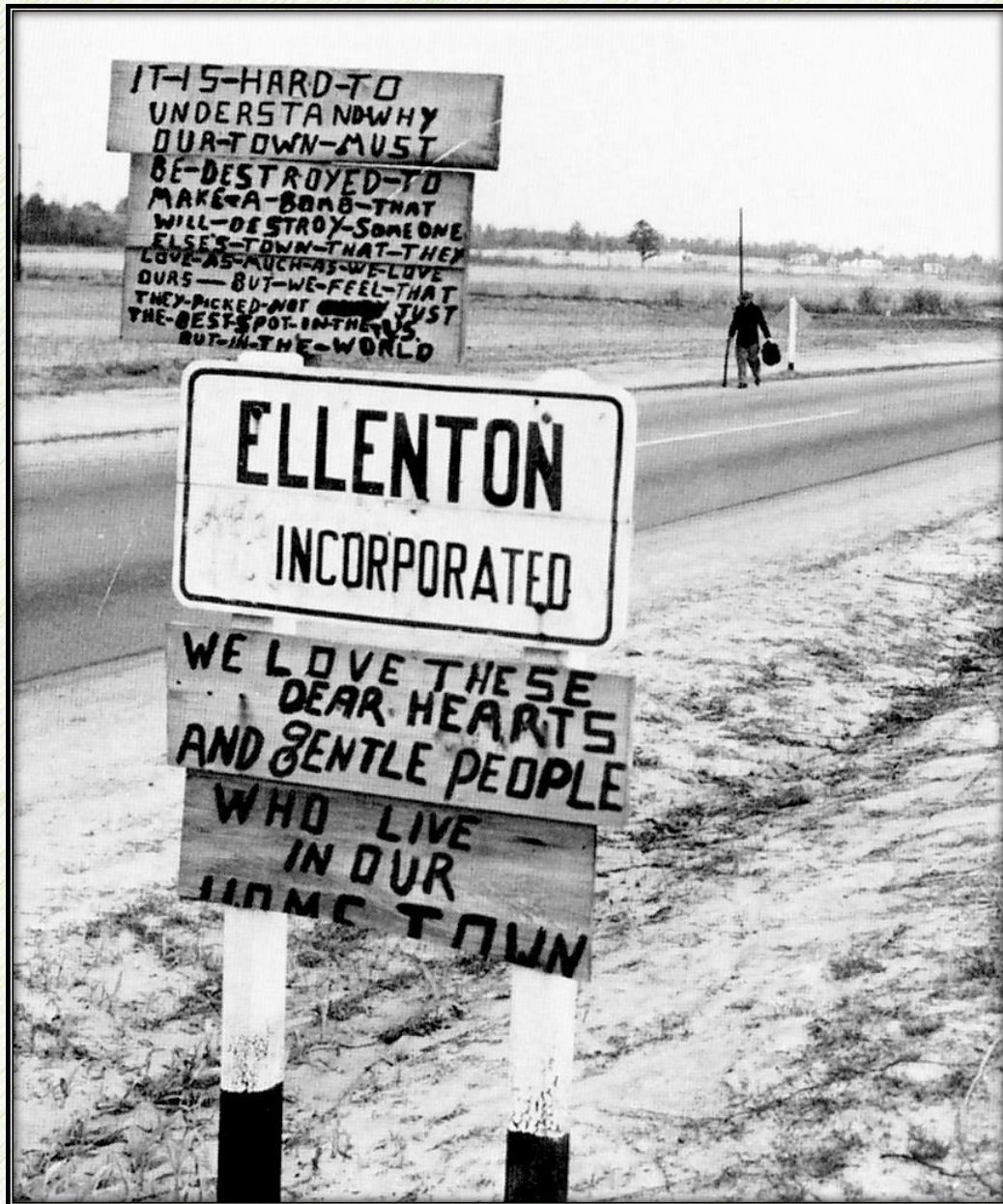
Red-cockaded  
Wood-pecker



Purple Cone  
Flower



Wood Ibis



(Bebbington, 1990)

それでは次のご講演は Thomas Hinton 先生、福島大学、また Colorado State University にも所属していらっしゃいます。Thomas Hinton 先生は 1989 年、コロラド州立大学にて放射線生態学の博士号を取得されております。その後スイスのポール・シェラー研究所、それからアメリカジョージア大学サバンナリバー生態研究所、フランス放射線防護原子力安全研究所を経て現在は福島大学、それからコロラド州立大学にてご活躍されております。ご専門は水生および陸生生態系における放射線汚染物質を調査されていることです。放射能汚染された生態系の修復、それから汚染物質の挙動のモデリングを中心に現在ご研究されています。数多くの論文を執筆され、2010 年には放射線生態学者としては初めてウラジミールシェフチェンコ賞を受賞されております。それでは先生にご講演いただきますが、タイトルは、すいません、『Environmental effects of operating the Savannah River Site: A nuclear production facility』ということで、タイトルも通訳していただいているんですかね。サバンナリバー核施設からの放射線漏えいと生態系環境影響ということで、お願いします。

A: 皆さんありがとうございます。恩田先生、ご親切なご招聘をいただきましてありがとうございます。ありがとうございました。

サバンナリバーサイトについての概要をお話ししたいと思います。大体 50 年ぐらいの期間にわたるものですが、ここで止まったというのが私のプレゼンテーションをお聞きになってお分かりいただけると思います。放射性核種は、その期間で止まったわけです。ということで放出は、もうそれ以降は非常に軽微なものになっています。サバンナリバーサイトはアメリカのサウスカロライナ州にあります。サウスカロライナとジョージア州、その州境に川があります。サバンナリバーという川があります。サイトが稼働したのは 1951 年です。サバンナリバーサイトは核兵器用の核物質の生産工場です。主にはトリチウム、そしてプルトニウム 239 を生産しています。

司会: こっちですか、ごめんなさい。

A: トリチウムとプルトニウムを生産していますが、これはコロンビアの新聞、1950 年のものです。巨大な原子力プロジェクトがエイケンで●する。エイケンというのは近くの都市の名前です。水素爆弾の材料を作る、そして 1,500 世帯がこの地域から避難しなければいけない。25 平方マイル圏内で、この政府はこの施設を建設するために移転を迫られたということです。

プルトニウムはどのように生産されるのか。ウラニウム、ウラン 238 を、まずはこの原子炉の照射標的として使います。そして中性子が、このウラン 238 に吸収されます。そしてそうするとウラン 239 になります。それが●によってネプツニウム 239 になります。

00 : 55 : 02

そしてさらに = カイヘイ = が進みプルトニウム 239 となります。このプルトニウム 239 が目的物質です。そしてもう 1 つはトリチウムです。それはリチウム 6 の中性子活性化に

よって発生します。精製されます。

また核燃料サイクルについてお話をしたいと思います。多くの施設が関わっています。この多くの施設がサバンナリバーサイトにありますので、これをご覧いただきますと少しお分かりいただけるとと思います。ウランは鉱山から抽出されます。採掘されて、それをガス化されます。六フッ化ウランになります。そしてそれが濃縮されます。天然ウランはウラン 238 がほとんどですが、標的としているのはウラン 235 です。これは核分裂性物質です。238 はそうではありません。235 は、天然には1パーセント未満しか賦存していません。それを濃縮して、より高い比率にしたいということです。ということで濃縮施設があります。そしてウラン 235 は濃縮されると大体3パーセントぐらいまで濃縮されます。原子力発電で電力発電用のものに関してはそうします。しかし濃縮90パーセントになると潜水艦の原子力、あるいは核兵器の生産ということになりますと90パーセントです。そしてウラン 235 は濃縮されると今度は燃料棒になります。あるいはウラン 238 が照射の標的の燃料棒となります。これを中性子を当てる、照射するものにするわけです。この物質が原子炉に入れられる。これは商業運転用の原子力であれば発電がなされます。これは沸騰水を作るということです。そしてタービンを回して発電がなされます。しかしサバンナリバーサイトでは、それは行われませんでした。発電は、どの原子炉でもサバンナリバーサイトでは行われませんでした。その目的は、こういった私が言った物質を精製することだったんです。照射標的の燃料棒を使用してその目的が果たされたということになりますと、仮設の貯蔵施設に送ります。これは大きな水泳プールのようなものです。この燃料棒が、こうしたプールの中で9カ月保存されます。短寿命の放射性核種は減衰するのを待つだけです。サバンナリバーサイトの放射性核種の放出を少なくする意味でも重要で、これは●重要でした。十分長く貯蔵した後は再処理施設に回されます。そしてここには非常に大きな科学のプロセス、産業規模のものがあります。そしてそこから科学的に興味のある、感心のある物質を抽出します。そして廃棄物は処理される。あるいは、また別の理由で別の場所へ送られることとなります。

ということで、これがサバンナリバーサイトです。こちらはサウスカロライナで、ここがサバンナリバー、これはジョージアです。サバンナリバーサイトの中には燃料と照射標的の燃料棒の加工施設があります。ま化け学、化学的な再処理施設が2つあります。また重水の施設もあります。これについてはまた後ほどご説明いたします。また原子炉が5基あります。さらに廃棄物管理区域があります。

ご注目いただきたいのは、この原資炉の1つ1つが川の流域にあるということです。こうした川が冷却目的にも使われ、またこういった原子炉からの放出された水が、この川を流れてサバンナリバーに隣接している沼に入り、そのサバンナリバーから海洋へと最終的には行きます。150キロ下流になります。

こういったさまざまな施設についてお話をしたいと思います。その放射性物質の放出についてもお話をし、また人に対する、この放出による線量についてもお話をし、また環境影響についてもお話をしていきます。放射性物質の放出だけではなく熱の放出について、つ

まり温水排出についてもお話しし、また●についてもお話しします。

01 : 00 : 06

間違いなく環境影響はあります。これは原子炉が背景に移っている 1970 年代に撮られた写真です。排水が、この川を流れてきます。そしてこれが●、そして環境に対する損傷を与えます。それはどんな原因なのかということが問題です。できればこれから数分を使って、その回答をお話ししたいと思います。

経緯を振り返ってみますと、この施設は 1952 年から稼働しています。1988 年の間違いです。こちらは間違いです。5 基の原子炉、RPK という文字が付いています。また 2 つ科学分離の施設があります。やはり F と H という文字が付いています。そしてこういったものは後のスライドでもご説明していきます。1953 年から 1980 年代後半まで稼働していました。先ほど重水ということを申しました。重水は 1 次冷却、そして減速材として原子炉の中で使われます。重水は水の分子に中性子が 1 つ余計に付いたものです。ですからこれじゃなくて上のほうということです。そして重水は自然に存在しています。非常に低い比率です。そしてサバンナリバーサイトには施設があって、川の水を取水してきて、そしてそれを濃縮して原子炉用の重水を取得するということをしています。

燃料棒ですが、これは加工されます。サバンナリバーサイトで加工されています。ウラン 235 の濃縮はテネシーのオークリッジという別の場所で行われています。濃縮ウランがサバンナリバーサイトに送られてきます。あるいはペレットになって、そして燃料棒になり、その後、原子炉に入れられます。この標的の燃料棒の施設がウランの放出の最大の放出源となりました。ピークの放出は 1969 年でした。1 万 1,000 キロのもの、0.3 テラベクレルが放出されました。

また廃棄物の貯蔵施設もサバンナリバーサイトにあります。これはどのように低レベルの廃棄物を扱ったかの写真です。これは汚染されたグローブ。そして衣服、防護服などです。これは大きな箱の中に入れられます。これはピットです。地中を掘ったものです。そしてピットにこういったボックスなどを入れると今度は土で埋めると、また埋め戻すということを行います。

低レベル廃棄物の 90 パーセントは半減期、もう 50 年未満となっています。1990 年代後半の全体の放射能レベルです。サバンナリバーサイトには 150 以上の廃棄物区域があり低レベルの量、そして●これです。

高レベルの廃棄物もあります。●の地下のタンクがあります。非常に大きなタンクです。400 万リットルの容量があります。これだけの放射能のレベルがありますので、高レベル廃棄物はある所に貯蔵され、それを今度取り出しガラス固化のプロセスを経て、その廃棄物をより安定したものにします。

またさらに浸透池もあります。この中で 3 つ、この写真には写っています。短期の廃棄物は、この浸透池に貯蔵されます。そのうちの幾つかはプラスチックのライナーが付いていて土壤に浸透するのを防いでいます。しかしライナーが付いてないものもあり、そうすると地

下水の汚染源となっています。こちらのほうは修復されたものです。この写真は大きなバレル、タンク、先ほどのスライドでお見せしたタンクの頭の部分が見えています。

こちらは5基の原子炉のうちの1つです。先ほど申しましたように原子炉は1950年代初頭から88年まで稼働しました。こちらは全ての原子炉がいつ稼働したか、そして停止したかを示しています。最初に稼働したのがRの原子炉、1955年でした。でもこれは1960年まで稼働して、あとは停止となりました。

01 : 05 : 05

Lの原子炉に後で注目したいと思いますが、ここで注意すべきは1969年まで稼働し、そこで停止しましたが1985年に再稼働し、3年稼働してまた停止しました。最大の原子炉の発電量が実現したのは1960年代前半です。それぞれの原子炉は、こういった施設をそれぞれ持っています。使用済み燃料、そして照射済みの標的を格納する所ですが、大きな水泳プールのようなもので先ほど申したようなものです。それぞれ1,000万リットルの容量があります。大体9カ月ここに貯蔵します。そしてここにある水、初期の稼働期間、1970年代は定期的に川に全く処理せずに放出されていました。ここに入れられた燃料棒は小さな亀裂が外部のケーシングにあり、その中にある放射性核種が漏出して水を汚染し、そしてその汚染水が川に放出されていたわけです。これは放射性核種の原子炉からの放出の大きな放出源になっていました。こちらは燃料棒で亀裂が入ったものです。これは「パーポンド」、1957年、大量の放出が放射性核種に関して、この破損した燃料棒の1つからありました。

さて、幾つか放射性についてお話をしたいと思います。そしてそれぞれの施設について少しずつお話をしたいと思います。どういった放出の種類があったのかについてもお話をします。全体としては大量のトリチウム、そしてアルゴン41を大気中に放出しています。これは下のグラフ、1955年から91年までを示しています。折れ線グラフは分離施設、つまり科学的に関心のある物質を分離する施設です。棒グラフは原子炉からの放出です。分離施設のほうが、ほとんどトリチウムの放出源となっていることが分かります。

こちらの写真は科学分離施設の1つです。これは今、建設中の所です。先ほど申しましたようにトリチウムの最大の源泉となって大気の放出源、大気中への放出源となっています。

これはサバンナリバーサイトの全体の放出です。大気、川、そして浸透池と、それぞれ経路別になっています。これは1950年から88年までの全体の大気中への放出量を示しています。トリチウム、クリプトン、アルゴンが支配的です。そして1のEの「ロクチョウ」までとなっています。テラベクレルです。そして川への放出、これは原子炉からということになりますが、放射性核種の分布が少し違います。また量も違います。●が重要なものになっており、またセシウム137も重要なものになっています。これについては後ほど説明します。また先ほど写真をお見せした浸透池ですが、こちら白い棒グラフで表しています。これも一連の放射性核種がこの浸透池に入れられていますが、その一部が地下水に漏えいしています。

さて、2000年に政府の機関であるCDC、疾病管理予防センターが線量の調査を大規模に

行いました。サバンナリバーサイト近隣住民に関する稼働の最初の 50 年に関してです。そしてその請負、受託先として Risk Assessment Corporation、RAC、ラックという所を採用し、サバンナリバーサイトからの全ての施設からの全ての放射性について非常に緻密な調査を行いました。これからお話をするデータは 2001 年に分析が終わりました。もう追加的な作業、それ以降ほとんどなかったためです。

01 : 10 : 00

これはラックのデータです。これはスクリーニングレベル、人の線量評価のスクリーニングレベルです。つまりどの放射性核種が公衆への線量に一番大きな寄与をしたかを見ています。2つの経路を見ています。上のほうが大気中、そして下のほうが水生、水域です。そしてこれはパーセントベースでの寄与率を示しています。1パーセント、10パーセント、100パーセントとなっています。ですから大気という観点からは最も公衆の線量に寄与した放射性核種はトリチウム、そしてヨウ素 131 です。これは水域の放出でも同じような数字になっています。10パーセントではストロンチウム 89 と 90 があります。でも間違いなくセシウム 137 が支配的な放射性核種となって公衆の線量、水域の●寄与しています。

B : さて、こちらでは 1954 年から 1996 年にサバンナリバーサイトに隣接した地域に居住していたと仮定する個人の被ばく線量を見ます。最大の被ばくを受けたという想定になっているということです。ここには 2つの経路があります。こちらまず 1つが水生系、もう 1つが大気放出ということです。こちらでご覧いただきますが、例えばリンとか亜鉛、ストロンチウムなどがこちらで黒の部分ということに、それからセシウム 137 も同じです。こちらが今度は空中です。大気中、アルゴン、トリチウム、プルトニウム、この辺りが大気放出に関連するものということが分かります。

こちらは、この 2つの経路を組み合わせたものです。1954 年から 96 年までということですが、ここでは集団線量という見方を取っています。こちらではトータルの線量でどうなっているのかということを見ているので、トリチウムが一番大きいということが分かります。その続きがこの亜鉛と、それからヨウ素ということです。セシウムはこの辺、それから残りの放射性核種がこの辺りということ非常に少なくなっています。

そこでこちらの数字としては、まず 4.9 人シーベルトという数字が出ています。人シーベルトというのは変な単位なんですけれども、これはこういうことを示しています。この線量、さまざまな個人の人々の線量を足していくということです。この人が 0.1 シーベルト、この人は 0.4、そんな形で足していくと、これが最終的な人シーベルトということ 0.75 シーベルトということになるわけです。こちらなんです、この場合には大体 5 シーベルトぐらい、5 人シーベルトぐらいになっているということが分かります。ということで、ここまでがまず第 1 部です。人に対する線量はどうかであったのかということで、5 人シーベルトであったということが分かります。そうなりますと、これは大きな線量ではないということが分かります。

それでは今度は視点を転じてみましょう。今度は環境に対しては、どのような被ばく線量

があったのかということを確認しています。この分析は非常に複雑です。かなりの年がたっている。そしてたくさんの放射性核種があるということで、複雑で非常に複雑極まりないということになりますので、最悪の事態であったらと、それから最悪の施設であったならということで仮定を置きながら確認をしていきたいと思えます。

まずさまざまな施設があるんですが、例えば浸透池、それから●、これは分離施設なんです、それから原子炉区域ということになります。原子炉の浸透池、それから原子炉区域、一番右が原子炉区域です。そしてその上で核分裂生成物と、それからもう 1 つ放射化生成物をトリチウムということです。そしてその際に全て見てみますと特に原子炉区域が抜き出ている。他よりもはるかに大きいということが分かります。そこで今度は、この原子炉区域にのみ焦点を当てて見ていきたいと思えます。これが最悪のシナリオということになりますので、こっちに焦点を当てて見ていきます。そこで、この中で主流、いろんな川の小川が流れているんですが、その小川に流れていくものについてのセシウム 137 の濃度を見ていきます。こちらをご覧くださいませ。こちらの **Steel Creek** というのが小川の名前ですが、これが一番放出が多いということが分かります。セシウム 137、こちらが 1952 年から 1978 年ということですが、こちらでは **pCi** ということ、かなりアメリカでしか使っていない 1 リットル当たりということ、**100pCi** というのが 40 ベクレルぐらいということ、こちらで閲覧いただきたいのは、この **Steel Creek** という小川では、かなり汚染が大きかったということです。

そこで今度は、この環境影響について考えるにあたっては **Steel Creek** という小川にのみ焦点を当てて、他の川については考えないというやり方を取りたいと思えます。

01 : 15 : 05

さて、この **Steel Creek** における放射性核種の濃度はどうなっているのかということ、先ほどのスライドを思い出してください。L 基、原子炉 L というのについては途中で 1 回停止して、その後また再開をしてしばらく運転したという話をしました。こちらが 1955 から 1985 年ということになりますが、全体における L 基が動いていた時期において測っています。1 リットル当たりのベクレルということで見ているんですが、こちらでは一番大きいのがトリチウムだということが分かります。非常に **Steel Creek** に対しては放射能濃度が高いのはこれだということが分かります。コバルト、亜鉛、ストロンチウム、ヨウ素、セシウム 137、セシウム 144、この辺りについては少ないということが分かるわけです。

それでは、今度はこのデータを念頭に置いた上で違う枠をちょっと追っています。今度はリスク分析という視点です。これはどうやってやったのかということですが、エネルギー省による生物層線量評価法というのがあるんですが●使っています。これは非常にシンプルなアプローチなんですが、その中では非常に最悪のシナリオはどうかということを見てスクリーニングをしています。つまりこのある程度のしきい値を超えないものについては放射性核種、振り落として見ていきます。IAEA のガイドラインがあるんですけども、1、10 ミリグレイっていうようなことで、それについて確認をしていくという、後ほどご確



認をいただきたいと思います。

そこでまず●ということ、後ろ向けに計算を行っていきます。環境における濃度を見て、そしてその上で1日辺り10ミリグレイ以上になるのは何なのか。つまり魚介類が10ミリグレイ以上ということだったならば、セシウムならば濃度はこうなくちゃいけない。例えば100ベクレル以上はなくてはいけないという形で形成をするわけです。そしてその川における状況について100ベクレルということで見ているならば、大体の予測として環境影響はどうなっているかということ、大体ですけども予測することができるということです。通訳がちゃんとやっているかどうか。

こちらの計算ですけれども、ここでは内部、外部両方の被ばく経路を勘案しています。こちらがDOEの今お話ししたバイオコンセントレーションガイドということです。1リットル当たりのベクレル値ということになります。こちらでは、まず魚介類が40、それから川辺の動物については2ということになります。これは川辺のということで、川に関連するもの、例えば川でかなり時間を過ごすような動物とか、あるいは魚介を採食しているもの、あるいは川の中に居るようなものということで、その典型例としてはアライグマが出てきます。これは哺乳類なんです、哺乳類であるが故に魚介よりも非常に感受性が高いということになります。こちらで、この部分でセシウム137に関して2という数字が出ているということは一番感受性が高いということなので、これに焦点を当てていきたいということになります。1リットル当たりのベクレルということで、この数字は非常に大きい。その辺の辺りの他の所については落として見ていくということです。

ではこの勧告を見た上で、今度はIAEA、ICRPのガイドラインの数字を見てみましょう。1日当たり1ミリグレイ、これが陸生動物に関しての数字ということです。それでは今度はこの考え方、つまり川における状況というのをガイドラインに照らして考えて、その上でそれをこの表の中に引き直していくと、これを比率で見っていきます。濃度が川にあって、それがガイドラインにおける濃度というのと見てみます。そしてこれが濃度1ということであったならば、1より下のものは無視してよいということになります。そしてこの放射性核種に関しては1以下であったならば大きなリスクを呈していないということになるんです。それに対して1を超えるということはリスクを呈する可能性があるということになります。恐らく環境に対するダメージを惹起するだろうということになります。そして今度は●のリスクになるということになります。まずこちらが1の線なんです、この中で見てみまずとセシウム、この●と、それからストロンチウムに関しては、これは恐らくはダメージを生じ得る可能性がある。つまり線量として、例えば川辺の動物に関して1を超えるレベルとなっている可能性があると言えます。そして先ほどお見せしたものについてトリチウムが一番高い濃度があるということを言いました。セシウムというのはちょっと低かったんですが、こちらで見ると状況が変わっているということです。つまり影響ということで考えますと、実はトリチウムというのは取るに足らないということが分かります。

01 : 20 : 04

そしてそれに対してセシウムのほうは非常に大きいということです。＝ベータエミッター＝であるということが大きな原因なんです。ということでベータ線を出しているということで、この線量についてはかなり低いということになります。ガンマ線を出しているものよりもベータ線を出しているということで、これについてはかなり影響が小さいということが分かります。

それではスクリーニングをしてみます。例えば今お話したようなスクリーニングをしてリスクが高いか低いかということでふるい分けをしていきます。あるしきい値、つまりこれは1ですけど、1を超えたということになったならば、今度はいきなり現実的なアプローチを取ります。今お話ししたようなリスクというのは非常に保守的な見方をしているんです。最悪のシナリオであつたらこうなるだろうというのが真ん中のほうなんです。例えばこちらは分布係数ということですが、こちらでセシウム 137、500 という数字にしています。でも実際はどうかというと、もっと現実的に見るとサバンナリバーで見ると 3 万 2,000 なんです。それは何かって言うとセシウムが、この堆積物にあるにあたっては恐らくこの、これに言われるよりも、この非常に保守的な分析よりもはるかにリスクは低いのだということになります。

ということで現実的な数字を使って状況を確認してみたいと思います。先ほどらいお話ししてきたのは保守的な数字ですが、現実的な数字を使うとどうなるかということをご覧いただきましょう。これを見てみますと、ほとんどの放射線核種が落ちてきます。セシウム 137 以外は落ちてしまうということが分かります。そこで今度は、例えば原子炉が一番大きな放射線源であるということが分かります。そしてそれが川に放出されている。そしてその川、小川、特に一番大きな小川、影響を受けているのが **Steel Creek**、その中で魚介類であるとか、あるいは哺乳類がそのような線量にさらされている、被ばくしているということです。1960 年代初め頃、それから 80 年代にまた再開しているんですが、この部分でこの線量が 1 ミリグレイパーデーを超えているかもしれない。IAEA の勧告であるところの 1 日辺り 1 ミリグレイを超えているかもしれない。しかし 10 倍とか 20 倍という、そういうレベルではないということが分かります。ですから恐らくこれは個々に対する影響はあるかもしれないけれども、しかしながらこの全体の集合体としては、影響は大きくなろうということが分かります。

それから今度は他の動物に関してはどうかということも確認してみましよう。例えばシカはどうでしょうか。こちらで文献を検索してみますとこれが分かります。濃度が一番高かったのは、この頃だということです。1960 年代の終わり頃。このシカの場合には 7,000 ベクレルということは、1 キロ当たり 7,000 ベクレルぐらいということが分かります。こちらでは 1 ミリグレイよりも 10 倍ぐらいであつたということが分かります。動物というのは、こういった浸透池の中に入り込んでしまうということをお話ししました。例えばカメとかいろいろな動物が入り込むということがあります。このグラフがこれを示しているんですが、非常に特異的な状況で何が起こるかということを示しています。ということで、こうい

う特異的な状況では動物の汚染が非常に大きくなるということです。何十万レベルということになっています。こちらのボックスで書いてあるのがミリグレイのレベルです。ということで動物が大体 1 ミリ、2 ミリぐらいから 10 ミリグレイまでいってくる。しかしながらこれは言ってみれば外れ値であって典型的な数値ではないということです。

それでは放射性物質の放出について、まとめをしてみたいと思います。確かに非常に大きな放射性物質の放出があったということです。特にこのサイト内に流れる小川に対しての、原子炉からの放出があったということです。そして動物に関して、特に浸透池に入っていた動物については大きな被ばくがあった。しかしこれは外れ値であるということです。水辺に生息する動物については IAEA のガイドラインの数字は 1 ミリグレイです。1 日当たり 1 ミリグレイ。しかしながらこの数字が、この線量率が高過ぎて、それによって死亡率が起るかという、それは分からないと。エビデンスはないということです。

それから不確実なところもあります。例えば短寿命同位体なども考えなくてはいけないということです。例えば線量を再構築をするにあたって、やろうと思ってもなかなか●分からない。つまり短寿命の同位体に関しては大気放出量を確認しようと思ってもなかなかできないということです。

それからもう 1 つ、潜在的な重要性を有する同位体でありながら入っていないものもあるということです。例えばリン 32 とか、その他のものについてはあまりにも寿命が身近過ぎるということであったならば計算をしないということなんですが、しかしながら実際には線量的にも、またいろいろな生命体にも影響があったかもしれないということです。

01 : 25 : 07

それからまたいろいろな計算を行っていますが、これは実際に平均よりもむしろ 1 年間における放出を見たということで、一番良い方法ではないかもしれないということです。私はこの分野で 10 年ほど仕事をしてきましたが、この放出に関してはそれほど大きなものではない。エコシステムへの大きな影響を与えるほど大きいものではないと私は自信を持って言えると思うんです。ところが実際見てみるとダメージは起こっているんです。こちらをご覧くださいませ。川のシステムを見てみると、このような形で木も植生も死に絶えている。また動物も死んでいるということが分かります。なぜ。これは放射性核種の影響ではないということは先ほどらい確認していますが、何によってこれが起こっているのか。実は温排水によるものなんです。熱排水がこの中で入ってくる。こちらがこのような P 原子炉と R 原子炉がこちらの所にあるんですが、ここから 70 度の温度の熱水が入ってきているということです。そしてそれが例えば運河、あるいはその他の●などを使っています沈殿池などを使っても 44 度ぐらいのところまでしか下がらないということです。そこで温水が流れ込んでしまっているということになるんですが、これがサバンナリバー、そしてこの部分がサイトです。こちらでは、これが小川なんです、それに関連する所の小川、それぞれの原子炉に関わる小川が出ています。そしてこの中で、この原子炉の操業が、運転が始まる前の状況です。それに対して熱影響が出たのは運転開始後ということですが、非常に悪い状

況というのが一番下、そして一番上にあるのが影響がないという所です。ご覧のとおり温水が入ってくることによって、こういった原子炉の運転によって温水が出る。それによって沼地が非常に大きな悪影響を受けているということが分かります。サバンナリバーに入る前の段階の所です。こんな形でいろいろな研究が行われていますが、温水の排出によって、例えば●植物の種が減っていると。それから魚類の●も、また生物多様性も減っているということ、それに対して魚介の中にあります寄生虫の量が増えているということ。また水生、昆虫の種類も変わってきているということです。さらに両生類の個体数も、また多様性も減っているということです。さらに水鳥の生物多様性も減少しているということです。これを惹起したのは放射性核種ではありません。これを引き起こしたのは原子炉から排出されることの温排水である、熱排水であるということです。

そして最後に皆さんにお見せしたいのは土地利用の変化ということです。これはサバンナリバーのサイトに関して撮影された衛星写真です。こちらが沼地、そしてこちらがサバンナリバーです。こちらサバンナリバーサイトというのは随分緑色をしているということが分かります。モザイクパターンが周りにありますが、そのど真ん中にあるこの辺はグリーンです。このモザイクパターンは、実は村とか町とかマクドナルドとか車とか、そういうものを示しています。人もそうです。人々が生活をする部分。ところがこの部分は本当に人が入れなくなっているということで、2万人はここで仕事をしているんですが、通常は車で入ってきて仕事をして車で出ていく。誰も住んでいません。ですからその結果このような形で、この辺りの部分はセントラルパークの部分ということになります。ですからその周りについては非常に大きなグリーンベルトでカバーされているわけです。そして公衆はこの中に入っていないということになるわけです。つまりこの辺りは全てグリーンでカバーされているわけです。15年、人が入ってこないとどうということになると、そうすると影響が出てくる、このように変わってくるということなんです。なんと環境研究パークに変わってくるということなんです。いろいろな種がここで生息するようになります。サバンナリバーのサイトで他には居ないようなものがどんどん舞い降りてくる。そこで環境影響ということを考えてときには、実はこのように分かりにくい変数が生まれてくるということです。交絡因子ということになります。実はこれは環境に良いのではということになります。人が居なくなれば、このように動物が生息できるということになるわけです。同じ議論をチェルノブイリで考えることもできますし、福島でも将来的にはこういう状況が起こるかもしれません。

そろそろ時間でしょうか。誰か私の時間測ってくださっている人、居ますか。あともう1枚スライドを足してもよろしいですか。

01 : 29 : 57

ということで、いろいろな放出等についてお話をしましたが、どんな研究がなされたかについてお話ができていなかったかと思います。実は本当にしっかりとした、この放射線生態学に関してのサバンナリバーサイトの非常に素晴らしい研究があるわけです。サバンナリバー＝エコロジーラボ＝というのがありますが、こちらは資金はユージン・オ

ダム、皆さん、もしエコロジストであったならばオダムという名前はお聞きだと思いますが、これはまさに米国における生態学の父と呼ばれる人です。彼は放射性エコロジーに関しての研究も他の研究に加えて開始しました。そしてその中で、ぜひ素晴らしいデータをご覧いただきたいと思うんですが、例えばトップファイブのスライド、放射性エコロジーに関して一番良いスライドを 5 枚選べと言ったらこれが入ります。まずこちらは●です。こちらの分ですが、この先ほどお話ししました原子炉のロッドから亀裂が入っているいろいろな出てくると。セシウム、そしてストロンチウム、超ウラン●というのが出てはいるんですが、この中で何があったのかということで確認をしました。全ての放射性核種をこの池の中で見ていったわけです。この中で●を作っていく、●を作っていくということですが、例えば魚を捕まえたなら、それについて放射能濃度を見ていったということです。あらゆる種について見ています。そしてまたバイオマスも確認しています。そしてその上でインベントリーを取っていったということです。バイオマス掛ける濃度でインベントリーを出すことができます。それから昆虫についても、あるいは植物、水生植物についても堆積物についても確認をしていきました。そしてその中で何が出ているかということは、こんなふうに見るんです。まず全部の放射性について 99 パーセントはセシウム 137 だと。その残り 1 パーセントの中の 85 パーセントがストロンチウム 85 だったと。失礼、ストロンチウム 90 だったということです。その残りの 5 パーセントのうち、それがもう今度は超ウラン元素ということになるんですが、今度下に向かって見ていきます。全部のセシウムの中、この池の中のセシウムのうちの 99 パーセントは砕石物の中に入っていたということが分かります。残りの 1 パーセント、今度は水と、それからこれは植物に分かれる。そして今度は動物、プランクトンと魚と、それから脊椎動物に分かれるということです。ですから全体の中の魚の部分というのは非常に非常に非常に小さいということが分かります。トータルの全体の全体像の中の、ほんのわずかだということです。そしていろいろなパーセンテージを比較して下さって結構ですが、いろんな種類の同位体があります。ストロンチウムというのは、かなり移行性が高いということになります。そうすると、85 パーセントがこの堆積物の中にある。セシウムの場合にはかなりもっと多かったんですが、ストロンチウムは少し移行性が高いので、もっと低くなる。それから今度は質量です。トータルの放射能で、例えばこちらの放射能を見ますと 1 グラムのセシウム 137 で、こちらの放射能は 3.2 掛ける 10 の 12 乗ベクレルということになります。これはどういうことなのかということで考えてみましょう。こちらで、放射能レベルでこちらが計算値で出ているんですが、トータルのこの堆積物におけるもの、4.6●ということですが、全部で 0.14 グラムであるということが分かります。セシウム 0.14 グラムです。本当に小さな数字です。質量で見ると。それから魚類の中に入っているのはどのぐらいでしょうか。なんと 0.000001 グラムということが分かります。ですからこの放射性核種の質量を見ますと非常に小さい。しかしながらこのような形で放射能について見ると、このように全体としては非常に●ということです。放射性エコロジーというのはエコシステムの中で、このような形で個々のタイプがどうなっているかということで、それを

それぞれ掛け合わせていくことによって分かるということです。ありがとうございました。

司会：Hinton 先生ありがとうございました。それでは質問、コメントなどある方は挙手をお願いします。

D：どうもありがとうございました。

01：34：53

リスクアセスメントのところで質問というか確認したいこと 2 つあるんですが、まず 1 つはそこに挙げられていた物質、ヨウ素とかも入っていたんですけども、それぞれのリスクのアセスメントの評価は、実際には観測したデータをベースにしたのか、それとも処理のプロセスのアクティビティーに基づいて推計した値なのかというところが 1 つ。

A：これは平均の微生物、生物中の濃度です。

D：それと、その結果を出されているドーズが 4.9 パーセントシーベルトってなっているんですけども、この施設に基づくドーズ以外に背景、バックグラウンドとして、ここの周囲の人たちはどのくらい、例えばラドンとかニカルーンとかニポートジウムとかそういうので暴露していると思うんですけども、それがどのくらいなのかは教えて。

A：人に関しては測定していません。測定に基づいたといいますか、それは生態系のパラメーターだけです。人に関しては、測定はしていません。線量の計算は放出に基づいて、推定の摂取のパラメーターに基づいて計算しています。私をご紹介したデータは、バックグラウンドは入っていません。これは線量で、放射性核種でサバンナリバーサイトから放出されたものだけに限っています。バックグラウンドの線量は、その地域はちょっと記憶していません、正確には。恐らく大半は宇宙船の放射線だと思います。あまり花崗岩とか、あるいはその他の岩でウランとトリウムなどには寄与するものはありません。またラドンもそれほど大きくはありません。もしかしたらちょっとそれは違うかもしれません。ラドンは宇宙船よりは大きいかもしれません。ちょっと数字はよく分かりません。本当にご関心があれば私は調査をして後でご回答したいと思います。バックグラウンドの線量、そうですね。多分 2 ミリシーベルトパーイヤーぐらいでしょう。世界の平均は 2.5 シーベルトですから、そこより少し低い 2 ミリシーベルト、1 人当たり年間 2 ミリシーベルトぐらいかなと思います。

司会：ありがとうございます。他にありますか。恩田先生。

恩田：どうもいろいろ大変面白い講演ありがとうございました。Steel Cleek のセシウム 137 なんですけども、図を見ると最大 100 ベクレルパーリッターぐらいの濃度があるように見えるんですが、下流に下って行って本線に合流して●本線に流れて行って今度、居住地に行くわけですね。そのときの濃度もある程度高い、例えば 1 ベクレルパーリッターぐらいかどうかよく分かりませんが、その辺りの濃度の、いわゆる敷地外の川の濃度の測定値とかそういうものはあって、その辺りは公表されていたようなものだったんでしょうか。

B：ご質問ありがとうございます。セシウムですが、大体この堆積物の中にほとんどが入っているということなんですけども、恐らくこの沼のほうから入っていきます。沼の中では水の流れが非常に少なくなってきました。そしてその結果、セシウムがかなり有機物とか堆積物と結

合する時間があります。ですからセシウムをしっかりと捕獲する仕掛けがその部分にあるわけです。その結果、ほとんどオフサイトの線量にはつながらないということになります。しかしそれでももちろん何年にもわたって、このセシウムが水の中にあるということは測定されるでしょうし、魚介類が下流のほうでも出てくるだろうということになりますし、トリチウム、セシウム、その他の放射性核種が、例えばサバンナリバーの河口の部分で海に流れ込む、その直前の所にも出てくると思います。数字は覚えていませんが、それは確かにあると思います。

01 : 40 : 00

この線量計算が、これまでいろいろな方が行った結果が出ていますが、それはもう既に●されています。恐らくバックグラウンドの 2 倍ぐらいではないかと思えます。サバンナリバーからの貢献分、寄与分というのはそのぐらいではないかと思えます。

司会：こっちでも音拾うんでしたっけ、後ろ。

A：まるで ph.D の論文のようですね、これだけ質問が出てくると。ちょっと温度も高く暑いんです。

これは ph.D の論文の質問ではありません。

F：生物の●にはほとんど影響が出てこなかったというふうにおっしゃったんですが、遺伝的多様性についてはどうでしょうか。あるいは繁殖率、このサバンナリバーのエリアの中で、例えば繁殖率が同じ動物でも変わってくるということがあったのでしょうか。これだけ長いリンケージが起こっていると、その可能性もあると思うんですが。

A：ありがとうございます。こういった放出の大半は 60 年代半ばから 70 年代初頭に起こりました。そのときに環境上の倫理というのは今のようなのはなかった。そして理解も環境上の影響についてそれほど進んでいなかった。また関心もあまりなかったと、環境影響に対する。実際そのために、このように直接川に放出することが許されていたわけです。今だったら決してそんなことは許容されません。ですからある意味で不幸だ、不運だと言えます。今、疑問をお持ちになった今のデータが放出のピークの際には精査されていなかった。例えば魚の繁殖率とか死亡率とか見ていなかった。死亡は見ていたかもしれない。それは魚が浮かび上がっていれば明白だったからですが、ただ繁殖率については誰も私たち知る限りではそういったデータはなく誰も見ていなかったと思えます。ただ単なる水量ですが、分かりませんが恐らくは何らかの影響が起きた可能性が高いと思えます。一部の魚類は繁殖率が低減したかもしれません。多分その減少率が魚の個体数に影響を与えるほどには大きくなかったとは思いますが、ただ推量です、それはあくまで。

司会：他にありませんでしょうか。アオノ先生お願いします。

アオノ：大変有益なプレゼンテーションをありがとうございました。シカの体内中のセシウムの濃度で線量率を計算されています。この場合、いわゆる内部被ばくの計算になりますけれども、いわゆる生息環境の外部被ばくの線量は小さいと見てよろしいのでしょうか。

B：最初のほう、ちょっと聞き逃したんですが。

アオノ：シカの体内中のセシウムの濃度で線量率を計算されています。これは生息域における外部被ばく量は影響しないと見てよろしいのですか。

B：これは内部と外部、両方を勘案した上で計算しています。内部被ばくと外部被ばく両方を勘案しています。これで答えになりますか。これで答えになりましたでしょうか。

司会：ありがとうございます。他にありますか。

G：きょうはありがとうございます。ヨウ素 131 が。

司会：どうぞ。ごめん、こっち指したつもりだった。どうぞ。

A：よろしいですか。レディーファーストでいきましょうか。じゃあ後ろの方、お願いします。

G：ヨウ素 131 がこれだけ放出されていると、動物の構造的の何か影響とかあったのかというのと、ヨウ素 131、これはいつも放出されているもの、いつも検出されていたんでしょうか。これだけ短い半減期の核種がいつも検出されていたのかってというのは、なんでこんなに出ているんでしょうか。

01 : 45 : 13

A：定期的に放出されていたと思います。どの施設が一番放出しているのかは覚えていませんが、ちょっとすいません、見てみましょう。

どうもほとんどのヨウ素 131 は大気中に放出され、また浸透池に放出されたようです。ですから大気への放出は多分、科学分離施設からだったと思います。科学分離施設、今も稼働しているんですが、1950年代から今日まで運転されています。それがヨウ素 131 のソースタームです。あんまりヨウ素 131 については、調査は行われていません、サバンナリバーサイトでは。私はもう自分自身も 10 年間行ってないです、現地に。ただ、今ヨウ素 129 の調査は行われており、その情報を使ってどんな影響がヨウ素 131 からあったかを逆算しているということをしています。でもまだデータは公開されていません。

司会：いいですか。

B：私から 2 つ質問があります。まず =KD= の値なんです、こちらでは控えめな見方と現実的なのというふうに見ています。こちらでは●科学にのっとなってということですね。それから 2 つ目の質問ですが、サバンナリバーに受ける実際に何が起きているのかということ●いただけますか。

実際に、はっきりと言えぬわけではありません。あんまりしっかりと見ていないので日本のほうに関心を持っており、ここ数年はあちらが少しお留守なんです、ただかなりの廃棄物の問題を有しているということです。アメリカ全体として、かなり放射線廃棄物の問題が政治問題化しているという状況です。そしてたくさんの高レベル廃棄物がサバンナリバーサイトに貯蔵されています。そしてガラス固化の施設もあります。こちらではガラスの棒に変えていくというプロセスなんです、その中でもそれが良いとか悪いとか、これやれとかやるべきではないとか、さまざまな議論が起っています。それがどうなっているかはまだ分かりませんが、それが現時点においての目標ということですが、こちらでは放射性廃棄物



の減容と、それから環境修復だということです。それからもう 1 つ●施設も造ろうとしているんです。ただこれは●言われていましたが、コストがあまりにも大き過ぎるということで、もうこれは確か中止になっていると思います。ちょっと実際にどうなっているかということは正確には分かりませんが、そんな形です。特に原子炉については何も稼働していないということで非常に良いことだと思います。

司会：他にありますでしょうか。お願いします。真ん中の方。

H：もし説明、もうれていたら申し訳ないんですけど土地利用区分のことをちょっと伺いたいです。土地利用の部分でサバンナリバーサイトの所でグリーンベルトっていう木々が周りを全体を覆っていて、放射性物質の拡散をちょっと防ぐような役割みたいな話を聞いたんですけど、これっていうのは核関連の施設ができる前からずっとそうだったんですか。

A：ありがとうございます。いえ、サバンナリバーの前からあったわけではありません。1950 年代初頭に、ここは非常にアメリカの中でも農業ベースで経済が不振な所でした。小農家の所で大体ミュールを、ミュールご存じですか。馬のような動物ですけども、すきを引くようなミュールという動物を使っていたということで、経済的に裕福な人たちが住んでいたわけではありません。貧困の農業地域だったわけです。そして国立公園のようなものもない。あるいは環境自然保護ということも、この時代はなかったわけです。

01 : 50 : 02

エネルギー省のおかげと言えるかもしれませんが、この原子力施設を造ったということ、そのときに周囲に緩衝地帯を造ったわけです。先ほどおっしゃったような形で、このために放射性核種がサイト外に拡散するのは防止されたわけです。1980 年代までには、ここは国立環境研究パークと宣言され、そのときまでには絶滅の危機に瀕した種に対する保護ということがなされたわけです。

司会：ありがとうございます。他によろしいですか。なければセッションを閉じたいと思います。Hinton 先生、ありがとうございました。