東日本大震災、福島原子力発電所勉強会　講義録　2011年4月23日(土) (午後3時)

「ポスト3.11日本社会にとっての課題　主に福島原発が投げかけるもの」
寿楽浩太 (東京大学 / UC Berkeley)

「原発事故による環境汚染を理解するための基礎知識」
村上治子 (Lawrence Berkeley National Lab)

with 安俊弘教授 (UC Berkeley) & 長崎晋也教授 (東京大学)

於：UC Berkeley Haas Business School Building C230

第一部：**「ポスト3.11　日本社会にとっての課題　主に福島原発が投げかけるもの」**
寿楽浩太 (東京大学 / UC Berkeley)

はじめに

東大の工学部の所属だが、専門は科学技術社会学で、文系の研究をしている。先週、Visaの更新などの用事があり、日本に帰国していた。こちらでもインターネットやテレビなどを通じて情報を得られるが、日本に戻って感じたことをお話させていただきたい。重要と考える問題が4つある。この他にも問題はあると思うが特に問題提起をしたいことである。

1：「長期化」をめぐる問題

まず、「長期化」の問題である。被災者の方々の心身疲弊はもちろん大いに懸念される。このような長期化する原子力の事故は今回が初めてではないか。スリーマイル島 (TMI) もチェルノブイリも、1週間くらいで事態が収束、もしくは見通しがついた。私が今回戻ったのは東京、千葉だったが、大学、家族はほとんど普通に暮らしていた。電気が間引かれていて、少し暗い感じがあったり、店頭で売っている水が少ないなどもあったが、スーパーの商品なども多くが戻りつつある。しかし、常に原発のことが気にかかっているという人が多い。事故直後から、「ただちに影響はない」という説明が繰り返されてきたが、「ただちに」というのが、2、3日の話であれば、それなりに意味を持つ表現なのだろうが、事態の収束まで長期間かかることが判明するにつれ、「ただちに」という言い方について普通の人もある種の矛盾に気づき始めてきた。つまり、短期であれば「ただちに」心配なければそれでよいのだろうが、長期化すると、十分心配のあるような量まで蓄積するのではないか、という点が問題になってきていると思う。そもそも東電や政府への信頼があるかどうかはもちろん重要だが、こうした矛盾はさらに不信や不安を増大させかねない。

さらに、「長期化」が震災の影響の他の面と原発事故の被害の間でフェーズのズレを生む点も問題となり得る。地震・津波で被災した地域は、がれきの片づけから仮設住宅建設など、復興・復旧作業の歩が進んでいる。しかし、原発事故の被災地域については、そもそも事故が収束しておらず、そうした段階には進めないままである。社会の他の部分において復興が進めば進むほど、もちろんこれは基本的にはよいことなのだが、原発事故被災地域はいわば「取り残されて」しまう可能性がある。これが社会的断絶、対立の契機となる懸念が捨てきれない。

2：「経路依存性」をめぐる問題

経路依存性は経済学などで知られた概念。復旧や復興は速やかに行われるべき、というのは、みなさんいわれることだが、社会インフラにかかわることは、今後10年、100年にわたって、社会に影響を与えていく。復旧・復興の際に選んだ選択肢が初期条件となって、今後の社会インフラの姿を規定してしまうのだ。

> 編注：経路依存性：人間や組織、政府、社会が、過去の選択、経験や歴史的背景、学習といったものによって、現在の選択が制約を受ける現象を経路依存性 (path dependence) という。(IT Media News)　キーボードのアルファベットの配列、VHS、CDなどの規格など、歴史の偶然で決められたものが、その後の人々の生活、消費行動を決めてしまうこと。

たとえば東電は今夏の電力確保のためにガスタービンを買い集めているという。仮設でない本格的な火力発電においては、ガスタービンの発電エネルギー効率は石油火力や石炭火力よりもいいといわれてる。なぜなら、ガスタービン自体と、さらにお湯で発電、という二重に発電できる、コンバインドサイクルと呼ばれる発電方式が日本ではかなり導入されているからだ。しかし、今、買い集めているものは、従来型のガスタービンのみの発電で、発電の際のエネルギー効率が半分程度にとどまってしまう。これは、発電する電力あたりの燃料消費やCO_2排出の増加を意味する。1000万キロワット分のガスタービンを導入すると3兆円かかり、さらに年間あたりの燃料費が5000億～1兆円かかると言われ、これは東電の営業エリア内の世帯当たりにすれば、それぞれ15万円、5万円程度の出費を意味する。CO_2が増えることは地球温暖化対策上、あるいはそのための国際的な枠組みに協力し、目標を遵守する上で望ましくないだろうし、化石燃料に頼る度合が高まることは、その供給や価格に社会が左右されるリスクもますことを意味する。

これは一例で、他にも現時点での緊急の決断が今後の社会の姿を規定しかねない点は数多い。新エネルギーを積極的に入れるべきという議論もあり、基本的には私もこれに大いに賛成するが、これに関しても、早急に確保しなければいけないという要請と将来どうしていくべきかをきちんと議論したいという要請を両立するのは大変難しい。具体的にどのような技

術を、どれだけ、どのような形態で導入するかなどは、今すぐ議論し、決定できる状況とも思われない。また、原子力利用をどうするかについても、社会はまだ当惑しており、突っ込んだ議論に入るには時期尚早であるように見受けられる。新聞の世論調査の結果を紹介したい。

新聞の世論調査紹介

朝日新聞の世論調査の結果を事故前と事故後で比較すると、原子力発電に関する今後の方向性について、確かに、「減らす」、「やめる」という回答は事故後に増えていて、「増やす」という回答は減っている。ある意味当然だが、「現状程度」という回答が一番割合が多く、51%である。事故前の54%と大きく変動していない。他の新聞社の世論調査も同様に、「現状維持」という回答の割合が多く、事故後もそれほど変わっていない。

ここで一気に脱原発、という世論は、あってもいいのかな、と思っていたが、社会全体はとまどっている状態に思われる。しかし、繰り返すが、当面の電力供給をどのようにまかなうか、という問題は待ったなしである。ここに経路依存性、とりわけ、あとからみるとの望ましくなかった、と振り返られるような経路依存性が起こる契機があるのではと懸念している。

編注： 4月18日の朝日新聞より引用：
朝日新聞社が16、17日に実施した全国定例世論調査 (電話) で原子力発電の今後について聞いたところ、「減らす方がよい」と「やめるべきだ」が計41%だった。東日本大震災の復興財源にあてるための増税については「賛成」59%が「反対」31%を上回った。

「原子力発電は今後どうしたらよいか」という質問で四つの選択肢から選んでもらうと「増やす方がよい」5%、「現状程度にとどめる」51%、「減らす方がよい」30%、「やめるべきだ」11%。日本は電力の3割を原子力発電でまかなっていると紹介たうえで同様の質問をした2007年の調査では、「増やす」13%、「現状程度」53%、「減らす」21%、「やめる」7%で、「減らす」と「やめる」の合計が28%にとどまっていた。

原子力発電の利用の賛否は「賛成」50%、「反対」32%。「反対」の層でも、原子力発電の今後について20%が「現状程度にとどめる」と答えた。男女別では、男性で「賛成」62%、「反対」27%だったのに対し、女性では38%対37%でほぼ並んだ。福島第一原発の事故に対しては、「大いに」56%、「ある程度」33%の合わせて89%が「不安を感じている」と答えた。他の原発で大きな事故が起きる不安については、「大いに感じる」が50%、「ある程度感じる」が38%。「大いに感じる」と答えた人のなかでは、原子力発電を今後、「減らす」「やめる」と答えた人の合計が55%と高い。
復興財源のための増税に賛成する意見は、民主支持層で66%と高かったが、無党派層で

59%、自民支持層でも53%に上った。復興の主な財源として増税と国債のどちらがよいか尋ねると、「増税」48%、「国債」25%だった。

3：「不信が生む非合理」をめぐる問題

次に、不信が専門知識に基づいた判断を妨げる可能性が否定できない。たとえば、水素爆発で損傷した原発の建屋を特殊な布製のカバーで覆う案について、政府やゼネコン主導で検討が進められているが、原子力の専門家からは内部の線量が上昇し今後の作業等に支障が出る可能性があること、放熱を妨げる可能性があること、水素が蓄積して新たな水素爆発を招く可能性があること、今後の台風シーズンに強風で煽られるなどして損壊を招く恐れがあること等、懸念が提起されている。しかし、政府の政治家は原子力専門家は信用ならないとして、ゼネコンの建設・土木関係の専門家に検討の指示を出し、こうした処置を進めようとしているという新聞報道もあった。私自身はどちらの言い分がどれだけ正しいか、判断ができないが、もし仮に、一般の人々からの原子力専門家や東電に対する不信を理由にして、彼らの専門家としての能力、判断も信頼しないという原則を採用し、むしろ彼らの言うのとは違う策を採ることで、社会の要請に応える「政治家の判断」という体裁をとろうとしているのだとしたら、それは好ましいことではないように思う。気持ち的には納得がいくが、専門知に照らして合理的で正しい選択ではない判断をしてしまう可能性があるからだ。

また、事故調査が今後行われていくが、事故調査をどう扱うかは日本が苦手としてきた分野。たとえば、航空事故をめぐる問題では、「事故調査を裁判の証拠としてはいけない」という国際条約がある。にもかかわらず、日本の裁判では、事故調査を裁判の証拠としてしまってきた。米国では分けている。惨事にどう区切りをつけるかという意味では処罰感情に応えることも大事だが、原因究明に基づく再発防止も大切であろう。両者の切り分けはこれまでずっと日本にとっての宿題だったと思う。そうした中、まさにこの原発事故後のこの時期、つい先週に、福知山線の事故を受けてできた運輸安全委員会の検証チームから、事故調査と刑事捜査は分けて行うべきだ、という提言がなされた。この検証チームには福知山線事故の遺族の方も参加しているという。こういう事故調査のコンセプトについての提案を今回の原発事故ケースにどう生かせるか。これから議論が必要だろう。

4：「複層化する対立・差別」の問題

最後に、この原発事故の影響が、様々な社会的断絶・対立を生み出したり、顕在化させたりしかねないという問題がある。まず東京 (使用地域) と福島 (発電地域) の間の対立がある。使用地域と発電地域の間の問題については、もちろん重大な倫理的問いかけであるが、昔から問われてきたことであり、問題としては認識されてきた。しかし、今回の事故の被害は、よりミクロな、東京と福島、というような大きな分け方よりはずっと細かい単位の、それでいて深刻な分断を生み出しかねない。たとえば、立地地域と隣接地域の問題。福島の中でも原発立地地域は交付金や仕事が回ってきていて、直接的な利益を受けてきたとの理解が成り立

つ。一方で、いままでそうした利益を直接的には受けてこなかったのに、今回避難対象になった隣接地域もある。浜通りの中でも、立地自治体と、被害だけを受けている方とは、たとえば賠償についての意見の違いが出てくるかもしれない。また、福島県には会津、中通り、浜通りという歴史的な地域分けがある。これら地域の間には歴史的な、一筋縄ではいかない経緯があると言われる。こうしたものが、原発からの受益と今回の事故による被害のバランスの問題と相まって、複雑で深刻な食い違いを生む可能性も否定できない。さらに、個人個人の間でも、どのような仕事をしているか、これまで原発にどのような立場を取ってきたか、早めに自主的な避難をしたのか、指示があって避難したのか、避難先が親戚や知人などのもとだったのか、避難所しかなかったのか、そして、どのような「被害」を受けたのか、その他様々な「違い」が、各自によって認識され、比較され、たとえば賠償に際しての公平・公正に関する人々の評価を変化させ、その「違い」がさらに意見や立場の違いを生みかねない。複雑な何層にもわたる対立が生じる懸念がある。

以上の4点が、社会的な影響で問題と考えていることである。福島原発事故後の社会については、みなさんとまた機会をつくってじっくり議論していきたいと思っている。

以上寿楽氏の講演、以下会場からの質問と答え

Q　新聞社の世論調査について、「現状程度」という回答が51%であることについて、納得いかないが？

A　朝日新聞のアンケートは、回答者に対して電力供給の3割は原発に依存しているという説明を前回はしたが、今回はしていないらしい。その意味では厳しくなっていいはずで、不思議だとも言える。世論調査は、質問の仕方、質問の順番、などによって結果がかなり違うことが知られている。調査は電話質問で行われている。無作為に電話番号を作り出して、かけてみる、つながった家のうち、さらに回答に同意してくれた人にだけ聞く、という方法が一般的だ。確かに、ネットではこの結果はおかしいという意見が出ていた。しかし、新聞社が結果を大きく改変したりしているとも考えにくい。また、このような無作為抽出の全国調査では、回答者の内訳をみたときに、確率的に都会の人の方が多くなりうる。西日本の人ももちろん入っている。

Q　携帯の電話番号はアンケートの対象になっているのか。

A　家の電話を対象にやっていると思う。正確なところは会社ごとにも違いうるのでわからないが、基本的には固定電話対象だと思う。

Q　補償問題について、誰がどこで検討するのか？

A　文科省が賠償に関する法律の所管になっていて、紛争審査会ができた。民法上の賠償について基準を7月くらいまでに作って、申請・審査という手続を作っていく。範囲を広めに取

る発言が政治家から相次いでいる。避難指示・勧告が行われた場合なのか、自主的に避難した人はどうなのか、とか。風評被害までカバーすべきなのか。さらに、この原子力事故の賠償に関する法律の枠組みとは別に、民法上の賠償責任を求める訴訟も起きてくるだろう。実際に、千葉にあるホテルが倒産して、東電に損害賠償を請求しようとしている。東電に出させる機運が強いが、一方で現実的には政府がバックアップが必要という指摘もある。日本では、このことに対する批判も見受けた。

Q　今避難している人は？賠償が先になると生活が大変になるのでは。
A　東電が1世帯100万円 (単身世帯は75万円) の仮払金を支払うことを決めており、実際に支給し始めたと報道されている。ただ、このプロセスについても東電は自ら手続きを行うと発表したのだが、政府が自治体の窓口で、と広報し、これに対して被災自治体の首長が「自治体はさらに事務量を増やせる状況にない」と反発するなど、混乱している。

Q　新聞で8兆円というのを読んだが。
A　それはおそらく休業補償とか全部含めてだと思う。今回の各世帯100万円で合計500億円程度だという記事を読んだ記憶がある。東電が銀行から借りた2兆円は早晩なくなりそうだとの報道もあった。これ以上は銀行は政府が手当てしないと東電にはお金を貸せないといっている。

Q　安先生にお聞きしたい。前回の勉強会で一週間程度で収束する見解が示されたが、一ヶ月以上問題が長期化している理由は何なのか。
A　電気が取れればうまくいくだろうと思っていたが、循環系がちゃんと生き返らなかったというのが最大の原因。水が循環すると熱を取り除くことができてうまくいく。よくない例ではあるが、がん患者の内臓に腹水がたまってしまうような感じ。循環せずに汚染したものがたまっていってしまうというジレンマ。これが今まで時間がかかってしまっている原因である。冷却して中身をあけて調べないと分からないが、今の状況から言えるのはそういうこと。外部電源だけの問題ではなかった。(安)

Q　いまだにヨウ素の量が減らないのは再臨界が起きているからと考えられる可能性はありうるのか。
A　ヨウ素の量は減っていると思う。(安)　(編注：福島第一原発のモニタリングポストで観測されている放射線量は、ヨウ素とセシウムの半減期にピッタリ合う割合で減っている。4月以降、新たな爆発や線量の増加、新たな放射性物質の漏洩は観測されていいない。)
Q　昨日WSJで、バルブを開ける判断が遅れて水素爆発が起きた、という記事があったがそのような事故発生初期の判断ミスが原因という考え方はありうるのか。
A　ありうる。TMI事故の際のケネディコミッションの委員だった私の指導教官だった先生がおっしゃっていたのは、原子炉の事故の ”Window of Opportunity” は「1時間」と「1日」だ、と

いうこと。つまり、最初の1時間と最初の1日の判断がその後の状況を大きく左右する。海水注入の判断、ベントの判断も、今から思うと悔やまれる部分があるのではないか。(安) (編注：「ベント」 air vent 、高まった圧力を逃がすために弁をあけ、空気を逃がすこと。)

第二部：
「原発事故による環境汚染を理解するための基礎知識」
村上治子氏 (Lawrence Berkeley National Lab)

はじめに

事態は現在進行形で専門家にもわからないことが多々あるので、その点はご了承いただきたい。

自分の研究としては、主にアメリカの核汚染の地域における地下水汚染・環境修復の評価に携わっている。原子力の情報を得る時にcontext (情報発信者の立場) というのは重要だ。自分は反原発・親原発という意味では中立でありたいと思っている。私は青森県出身で、子供の頃は反原発だった。その後、興味が高じて原子核工学を勉強し、原子力は安全だと納得した時期があった。今は原子力の後始末の研究が中心であり、原子力の是非そのものは自分の研究と直接的には関係ないが、原子力関係の友人や尊敬する人も多く、残念だと思っている。研究者の議論も、反原発・親原発という方向性がいろいろあり、いろいろなcontextの中で議論がなされていることを理解していただきたい。

おすすめ文献

- 放射線物質による汚染、放射線防護に関して、『世界の放射線被曝地調査』 (ブルーバックス / 高田純) は古いものであるが、今回はとても役に立った。研究者の方が世界にある核汚染地域に行って、調査をする話。基本的な知識も豊富。福島原発周辺の線量を他の地域と比べる事ができた。ご連絡をいただければコピーをお貸しできる。
- Union of Concerned Scientistは、反原発の立場の方が書いているものであるが、原子力関係の研究者の間でもきちんとしていると評価されている。
- 反原発から親原発まで幅広く情報を得るのが重要。

概要

まず、放射性物質の基礎知識について、放出の状況や生体中・環境中の挙動について話し、その後は、自分の研究に関連した環境修復についていくつかの事例を挙げながら説明したい。

Section1　放射性物質の放出

燃料棒・燃料集合体・炉心 (Slide 6)

- 酸化ウランのペレットがジルコニウム合金の被覆管 (細い管) に入っている。直径は1センチ強。その管が束になって、燃料集合体を形成しており、燃料集合体が集まってになって炉心になっている。一基で90トン程度のウラニウムが入っている。

原子炉の温度(理論) (Slide 7)

- 理論的なもの。左側が通常運転のときの燃料棒の中の温度を示す図で、右側が異常時のもの。通常時、外側の冷却水の温度は約300度で、中心部は約1700度になる。5ミリ、6ミリくらいのところで非常に温度差がある。(村上補足：燃料の酸化ウランは酸化物で熱伝導が悪いのと、核分裂からのエネルギー密度は非常に高いからです。)
- 運転が止まると、冷却水がある限り温度は下がっていくが、事故により冷却水が失われると温度が上がっていく。
- 炉心の中心近くは温度が高く、外側は温度が低い。そのため、スリーマイル島事故(TMI)のときも中心部が溶けて外が残っていた。
- ジルコニウムと水蒸気が反応して、ジルコニウム酸化物と水素を生じる。反応は700−800度から始まり、1200度程度で激しくなる。ジルコニウム酸化物はもろいので穴が開いて、中の放射性物質 (セシウム、ヨウ素等) が出てくる。それ以上に温度があがり、2800度くらいになると酸化ウランの燃料が溶ける。今回の福島では、水素爆発が起こったということは、少なくとも水素が発生する1200度になったのではないか。

Q　溶融が起こったということだが。

A　日本の報道は溶融という言葉をいろいろな意味で使っているので注意する必要がある。制御棒の外側 (ステンレス)、ジルカロイド、ボロンカーボイド、ペレットの順番で溶ける。ペレットが健全だということは中身は出ていないということ。専門家、マスメディアの中でも「溶融」の言葉の意味するところ、使い方が異なっていたかもしれない。(長崎)

日経新聞は、溶融はペレットが溶けることという意味で使っているようである。(村山さん)

編注：日本時間4月18日、保安院の西山英彦審議官は記者会見で、「燃料ペレットの溶融」が一号機から三号機まで起きていたとの見解を初めて示した。(新聞各紙)　ちなみに、この日まで保安院は「溶融」という言葉を使わず、「損傷」という言葉を使っていた。ペレット溶融の事実より、燃料棒は2500度以上に達していたと考えられる。

Q　臨界になる可能性はあるのか。

A　臨界には水が必要。臨界になれば中性子で分かる。臨界にするのは一般的にものすごく難しい。 燃料の状況は「あけてみないと確かなことはわからない」状況。ペレットが解けた可能性もあるという発表が保安院からあったと思うが、真ん中からか、外からか等具体的なこ

とは分からない。(長崎)

Q　温度計はないのか？
A　冷却水の出入り口等に温度計はあるが、燃料の温度を直に測る温度計はない。(長崎)

村上補足：勉強会中言いそびれましたが、再臨界の可能性をよく話されている先生方、小出先生、今中先生は京大原子炉実験所にいるにも関わらず、反原発です(そこが京大のおもしろいところなのですが)。私は、以前から尊敬していますし、この事故における初期の見通しに関しては、テレビによく出ていた大学の先生方よりも正しかったと言えます。ただ、不確実な状況で、各個人は自分の知識のベストを尽くして解釈をしている訳ですが、その立場の違いがバイアスを引き起こしてしまうということは否定できません。一つの情報源を100%信じてしまうのは危険だと思います。グリンピースから原子力学会のウェブサイトまで幅広く情報を集めるといいと言っていた人がいました。
最後のスライドにお二人の3月18日に行われた一般向けの講義ビデオのリンクを載せておきました。いくつかバイアスが見受けられたりしますが、とても勉強になります。東京でTeも放出されていたということは驚きでした (次のスライドに出てきます)。

大気放出物質　-　チェルノブイリ (Slide 8)

- 運転中に爆発 + 黒鉛が炉心入っていたので火災。運転のミスで制御できない即発臨界反応が起こった。火山の噴火と山火事が起こったようなもの。

爆発で放出されたもの：

- 希ガス
- ガスとして放出 (低沸点元素)：ヨウ素、セシウム (少量のテルル、ストロンチウム)
- 粒子として放出 (hot particles、高沸点元素)：ストロンチウム、プルトニウム等

希ガスは何とも反応せず、そのまま出て行って拡散。沸点が低いものはガスとして放出され、塵に凝縮して拡散。沸点が高いものは燃料粒子として放出。粒子のうち、燃料が溶けてできたもの、燃料そのままのものは水に溶けにくいが、火災により燃料が酸化されてでてきたものは水に溶けやすいということがわかっている。溶けやすい粒子は、中からいろいろな放射性元素が溶け出て環境中で広がる。

放出物質　福島 (Slide 9)

Q　チェルノブイリのときと今回で放出物質はほぼ種類が一緒だが、それでもチェルノブイリより事故の程度が軽いといえるのか。
A　チェルノブイリでは炉心自体が吹き飛ばされ、炉心内部が露出した状態になったが、福島では格納容器は残っている。覆いはある状態。炉内に水がなくなって乾燥した時に、粒子が配管なりをつたって放出されたものと考えられる。仮に格納容器にひびなどがあっても粒子の

放出は少ないのではないか。チェルノブイリと比較して、ガスとして出てきたものは相当量出てきたといわれているが、粒子に関しては見つかった量も非常に少ない。

大気放出経路 (Slide 10, 11)

- いろいろな可能性が考えられるが、どこから放出されたのかは専門家にもわからないところが多い。
- 圧力抑制室を通したベントは意図的に行われた。ただこの場合は水を通しているので、出てくる放射性物質は少なく、水素、希ガスが主なはずであったが、他のものも出ているので、これだけではない。
- 格納容器からの直接ベントはあったと言う人となかったという人がいる。(村上補足：東電発表の資料には二つのベントが書いてある。)
- ポンプ・配管の継ぎ目が弱いので、そこから放出した可能性もある。一時期は水がない状態だったので、粒子のものが出たのではないか。
- 2号機では圧力抑制室が壊れているので、水を通したベントがうまく行かなかった可能性がある。
- 使用済み燃料プール：ここからほとんどの放出があったのではないかという説が一時期有力だった。アメリカ原子力学会の代表者も議会でそう証言していた。しかし、数週間前の調査によると使用済み燃料 (4号機) の損傷は少ないので、放射性物質は原子炉から放出された可能性が強くなっている。

Q　プルトニウムが土壌から見つかったという報道があったがこれはどこから来たものなのか。

A　プルトニウムと一緒に見つかった元素が半減期が短いものなので、使用済み燃料プールではない、原子炉から来たという推測が可能である。(編注：スライドより、プルトニウムの他、99Tc(6hrs) 140La (2days) 99Mo (66hrs) など短寿命粒子の放出。)

村上補足：もちろん、放射性物質の特定が正しいというのが前提です。東電の分析が間違いだったことが過去数回あります (ヨウ素、I-134、Cl-38などは「再臨界が起こっているのでは？」という混乱を引き起こしました)。この土壌分析は東電発表でも、JAEAが行っているので、信頼性は高いと思うのですが。

Q　炉心内燃料棒と燃料プールの同位体は違うはずので、どこから来たのかすぐ分かるのではないか。

A　すぐ分かると思っていたが、報道がされなかった。(安)

Q　使用済み燃料プールからと炉から、出てくる場所によって被害の差はあるか。

A　まず、出てくる物質がちがう。ヨウ素は半減期が短いので燃料プールには量が少ない。また、出てくる時の状態も違う。粒子に関しては、炉からの場合は、高温のために燃料が粉々

になっていることが想定されるため、粒子が小さい＝相対的表面積が大きい事が考えられる。よって、水に溶けやすくなったり、空気中に広がりやすくなったりする。水素爆発でバラバラになっているものに関しては、敷地から30-40kmまでは飛ばないのではないか。チェルノブイリでは、粒子が作られる過程は燃料が高温になって、粉々になったということがわかっている。

A　基本的には使用済燃料プールはむき出し。格納容器、圧力容器のある原子炉とはバリアが違う。ヨウ素、セシウムが汚染の原因になる可能性がある。ガスになりやすいものがでてくる、というのはある。(長崎)

Q　燃料プールが破損して地下に染みているという可能性はあるのか。

A　循環系が閉じている限りそこから外に出ることはない。あるとすると一回外に出てから、雨になって地下に染み込む可能性はある。燃料プールが破損して地下に、とは現時点では考えられない。(長崎)

汚染モードの比較 (Slide 12)

放出といった時、3つに分けられる。汚染の懸念順に並べてみると、一番大きいのは大気汚染、次にに海洋汚染、三番目が地下水汚染と考えられる。

1：大気汚染

一番広がりがあり、土壌汚染も大気汚染の結果としてでてくる。対策としては原子炉の冷却が一番。冷却の目的は、炉の溶解を防ぐのが第一であるが、セシウム、ヨウ素の沸点以下にするというのも重要である。そういう意味で水を入れ続けなければならない。現在は炉の温度が下がってきたので、以前よりも心配しなくてもいい状態になっている。実際に各地の放射線レベルは下がっている。

2：海洋汚染

魚介類も汚染されるが、太平洋の希釈効果は大きい。過去に核実験なども行われたが長期的被害はあまり報告されていないので、希釈効果が大きいと考えられる。

Q　低濃度汚染水の流出について、世界中からたたかれているが、やる必要はあったのか、実は疑っている。放射性物質の量 (低い高い) というのは相対的、国際的な基準と照らしてどうなのか。

A　処理してない水を海に流したのは緊急では必要な対処だった。他の国の政府でもそうしていたと言われている。高濃度汚染水をうつすために、ためていた低濃度のもののを、どうにかしなければならない。普段であれば処理していたが。容器を運んでそこに低濃度をうつせばいい、という話もあるが、量がかなり多い。問題は通知が遅かったこと。流しますという通知を近隣の国が受けとったときにはもうすでに流し始めていた。

A　周辺国は、どちらかというと、通報が遅い、というほうを問題にしているのではないか。周辺国の政府はそれぞれの国内世論への配慮もある。政府が日本に抗議しなければ国内から支持が得られない、という背景もあると思う。(寿楽)

Q　なぜ通知が遅くなったのか。
A　政府のリソースが足りていない。東電のキャパシティも単純に足りていない。隠しているとかそういうことではなく、単に現場が混乱しているという感じがする。(寿楽)
A　先週韓国の原子力関係の高官から、韓国が怒っていたのは、中国とロシア　には直接日本政府から通知があったのに、韓国政府には直の事前通報がなかったこと。国民に説明がつかないと聞いた。事実として未確認だが。(安)

Q　海洋汚染も大気汚染とおなじようにマダラなのか。
A　大気汚染は大気の層によって風の向きが変わったりするため、また、山や丘があるので、不均質になる。(村上補足：また、離れていても、たまたま雨が降ったところは放射性物質が落ちてきます。飛び地のようになります。チェルノブイリでは〜200kmでも飛び地で高汚染地域がありました。)
A　海についてもテレビでシミュレーションをやっていた。
A　Referenceで示されていたCalTechの先生のシミュレーションでは、海上では北東のほうに流れていた。(鈴木)
A　IAEAの海洋拡散モデルによると、沿岸部は川のモデルと似ている。海も深くなると均質ではなく、層になっている。どこの深度で見ているかによって、分散の速さが変わる。実際の海流をふまえたシミュレーションはかなり難しい。(安)
A　水俣病の有機水銀の流出事件でも、海洋の鉛直での実際の姿はわかっていない。(長崎)

3：地下水汚染

- 他に比べて、汚染の広がりは限定的と考えられる。一般的に地下水の流れは海方向で、内陸のほうには影響が及ばないと予想される。
- 土壌に吸着しやすいセシウムなど、フィルター効果は期待できると考えている。海方向に流れているので、最終的には海に流れる。地下水の流れは表面水に比べたら遅い。今すぐ対策しなければならないかどうか。もちろん漏洩がないというのが一番であるが、この緊急時に他の汚染経路に比べて優先順位は低くてもよいのではないか。

Q　東京電力と政府でできることはやっているが、他の電力会社の支援は行われているのか。
A　関西電力やほかの電力会社が支援しているというを聞いた。ここでやらないと原子力自体がだめになる、という意識があると思う。
A　すくなくとも他電力からの出向者は東電本体に引き上げている。一方で、各電力会社は自分たちの原発も等閑視できない。(長崎)

Q　このプライオリティはグローバルに考えてか。
A　そうである。

Question (Slide 13) 参加者から前もって寄せられた質問
Q　放出された放射線量より、溶解が起こっていたと考えるのが妥当だと思うのですが、保安院の発表が一ヶ月後だったのはなぜですか？
A　わかりません。解析に時間がかかったのでは？

Q　海洋汚染について
A (今のところ) セラフィールド工場 (UK) より流出量は少ない。セラフィールドでは健康被害は確認されていない。
(注) 放出量はどちらも不確実。
(注) リスク計算は魚を食べる量にもよる。量だけで決めるのは危険。
(注) ストロンチウムがでているのか調査されていない / 調査結果がまだ出ていない。
　ストロンチウムは魚の中に入ると外から測るのは難しい。セシウム、ヨウ素はベータ線とガンマ線を両方出すが、ストロンチウムはガンマ線を出さない。ベータ線のみである。いったん魚の中にはいると外から測るのが 難しい。ただ、ストロンチウムは骨と鱗にたまるので、そこを除けば大丈夫ではないか。

Q　セラフィールドではなにが起こったのか。
A　セラフィールドでは再処理工場があり、事故がおこり、放射線物質が放出された。
　村上補足：1950年代以降数々の事故、漏洩があったそうです。

　編注：セラフィールド　以下wikipediaより引用
　セラフィールドは、英国北西端に位置するもともと王立の軍需工場であり、第二次世界大戦においてはTNT爆弾などの砲弾を製造していた。1947年、核兵器の材料となるプルトニウムの生産を行うため、ウィンズケール原子力研究所が着工された。1957年10月10日、ウィンズケール火災事故が起きる。この事故は世界初の原子炉重大事故となった。英国北西部の軍事用プルトニウムを生産するウィンズケール原子力工場　(現セラフィールド核燃料再処理工場) の原子炉2基の炉心で黒鉛 (炭素製) 減速材の過熱により火災が発生、16時間燃え続け、多量の放射性物質を外部に放出した。避難命令が出なかったため、地元住民は一生許容線量の10倍の放射線を受け、数十人がその後、白血病で死亡した。現在の所、白血病発生率は全国平均の3倍である。当時のマクミラン政権が極秘にしていたが、30年後に公開された。なお、現在でも危険な状態にある。2万キュリーのヨウ素131が工場周辺500平方キロを汚染し、ヨウ素 (ヨード) の危険性を知らせたことで有名である。また水蒸気爆発のおそれから、注水に手間取った。1981年、ウィンズケー

ル・アンド・コールダー研究所は施設の再編成に伴い、セラフィールドと改名した。

Q　最善、最悪のシナリオ。最も起こりそうなシナリオは。(Slide 14)
A　最善のシナリオは原子炉からの水漏れを止めて、循環冷却を確立する事である。ただし、水漏れを止める工事をするのに人が近づけるかという問題がある。最悪のシナリオはこれ以上の地震、津波等。最も起こりそうなシナリオは、原子炉に水を入れ続け、漏れてくる水を外で処理する仕組みをつくること。敷地外への放出がとまる。東電の工程表は曖昧にできているが、漏れ自体を止めるのではなく、敷地内からの流出をとめると解釈できる。敷地スケールで循環ができるのではないか。

Q　汚染水処理にフランスのアレヴァ社の機械を使っているとのことだが。
A　汚染水を処理する、というのは再処理工場でのプロセス。再処理工場のノウハウをもっているのはアレヴァ社なので、彼らから支援を受けているのだろう。

編注1：アレヴァ社 wikipedia より引用
アレヴァ (仏：AREVA SA) は、フランスに本社を置く世界最大の原子力産業複合企業で、傘下に複数の原子力産業企業を有する。アレヴァはフランス共和国政府の原子力政策の転換によって誕生した持株会社である。フランスの原子力政策はフランス原子力庁 (CEA) が主導し、民間企業のフラマトム (Framatome) が原子炉プラントの製造を、CEA子会社のコジェマ (Cogema) が核燃料製造を担当する分業体制にあり、フラマトムはフランス電力公社 (EDF) から原子炉プラントの発注を独占してきた。1980年代以降、フランス電力公社からの受注がプラント需要の一巡により激減し、フラマトムは経営の多角化や合併を模索するようになった。

編注2：アレヴァ社に汚染水処理を依頼 (4月19日、産経新聞より引用)
来日中の仏原子力大手アレバのアンヌ・ロベルジョン最高経営責任者 (CEO) は19日、都内で記者会見し、福島第一原子力発電所の高濃度汚染水の処理について「当社は実績もあり、技術的に十分可能。5月をめどに着手したい」と述べた。汚染水処理ではアレバや米社が主要機器を提供し、東芝が排水システムを構築。6月に稼働する予定だったが、アレバなどは東京電力の要請を受け前倒しする方針だ。ロベルジョンCEOによると、汚染水に特殊な化学物質を投入して放射性物質を水底に沈殿させ、沈殿物を水から取り出すことで分離できる。処理後は水の汚染濃度を現在の1千～1万分の1程度まで薄めることができ、1時間あたり水50トンの処理が可能という。

Q　冷却のために水を入れたら、いずれは放射能に汚染された水が出てくるのは当たり前であるが、東電も政府　もどうしてその心配をしなかったのか？
A　初期の頃には、そこまで予測ができなかったのではないか。水漏れが見つかったのは、安

先生の勉強会の後 (3月18日) だった。対応が必要になったのは後になってからだった。

Q　地震と津波を除いた場合の最悪のシナリオは。
A　個人的には、あまり考えられない。

Q　再処理についてアメリカはやっているのか。
A　アメリカは再処理をしていない。
A　再処理をしているのはフランス、イギリス、ロシア。事故処理にかかわったかどうか、という点については、日本の企業もTMIの処理にかかわって　いて、現地に事務所を作って対応していた。日揮や荏原製作所など、水の循環、クリーンナップ、化学プラントの会社など、ノウハウがあるのでは。(安)

Q　不確定な情報であるが、アレヴァ社に依頼をした際、金額の話をしていない、と聞いた。
A　日本の企業も、希望的観測ではあるが、充分やれるポテンシャルはあると思うが、こういう場合は実績が重要。アレヴァは実際にやっている。(安)
A　同じ処理剤を日本は原研や産総研も持っているがおそらく実験より大きいことをやったことがないのでは。アレヴァ社の請求額は大きくなるだろう。(長崎)
A　日本でみていると、外国に頼め、という世論が強い。新聞に書いてあることイコール国民の意見ではないが、政治家は新聞を見ている。外国の方が高い技術を持っているはずで、早くそれに頼るべき、というロジックが見受けられる。米軍への期待もものすごく大きい。米軍はこの事故で出てきた諸問題をどんどん解決できるような装備や技術があるのではないか、といったある種の幻想すら感じられる。この背景について、何によって起こっているか、という詳細はわからないが。こうした判断に当たって、純技術的合理的にどうか、というより、政治的社会的要素も大きいということは間違いないと思う。(寿楽)

Q　大気、海洋、土壌汚染とあったが、梅雨、台風の季節の前に近隣諸国に迷惑がかからないように処理する必要があるのではないか？
A　大気中の放射性物質が雨に含まれて落ちる、また、土壌表面の放射性物質がしみ込むことも考えると、近隣諸国というより自分のところのほうが影響が大きいと思う。

Section 2 放射性物質の環境中・ 生体中の挙動

化学的性質 (Slide 16)

- 放射性、放射性ではないにかかわらず、環境にでていったものは、化学的性質に支配される。
- 周期表で同じ列にあるものは似た性質を持つ。セシウム (Cs) はカリウム (K) と、ストロンチウム (Sr) はカルシウム (Ca) と似ている。ヨウ素は塩素と似ていて、有機化合物になるな

ど複雑な動きをする。

- ストロンチウムはカルシウムと同様骨にたまる。
- 希ガスそのそのまま飛んでいき、生体との反応はしないので、影響は少ないと考えられる。
- 似ている元素を知っていると、ニュースを理解するのに役立つ。例えば、対策として、菜の花を植えることがあがっている。菜の花は塩害の後に最初に植えられるらしい。セシウムはナトリウムと同じ列にあるので、効果があるかもしれないと予測できる。

Q　菜の花を植えるということは実際効果があるのか。

A　植物による環境修復は、研究として新しく、まだ結果として出てきてはいないのではないか。

放射線の種類 (Slide 17)

- アルファ粒子：透過力は弱いが、体に入ってしまうと影響は大きい。(編注：陽子2、中性子2のヘリウム原子核、プラスの電荷を持つ。)
- ベータ粒子：金属1枚で遮断できる。体の中に入ってしまうと外から測ることは難しい。例えば、ストロンチウムはベータ粒子しか出さないので、体に入ると計測しにくい。冒頭に紹介した本の中で、ロシアの核兵器工場による汚染地では、ストロンチウムを歯で測っていた (歯はむき出しなので)。(編注：電子、マイナスの電荷を持つ。)
- ガンマ線：透過量が強いので、コンクリートでないと遮蔽できない。(編注：X線よりも強いエネルギーを持つ電磁波、光)

Q　福島で作業されていた方の防護服はすべて防げるのか。

A　防護服はアルファ線ベータ線を防ぐと考えてもらってよいが、一番の役割は体に汚染物質を付けない、ということ。(長崎)

放射線物質の同定 (Slide 18)

同定はガンマ線によって行われている。核種によって工ネルギーが異なるの点を使って同定している。例として挙げたのは、地下の自然放射性元素の測定について。石油採掘等で、井戸にガンマ線検出器を入れる。粘土層にはカリウムが、海洋性由来の地層にはトリウムが多いなど、特徴あるので、地層が特定できる。1960年以降核爆発で放出されたセシウムが地下から発見されたりしている。この場合、ピークはいくつかしかないが、福島では、たくさんの核種がある中で同定するのは難しい。半減期の短いヨウ素がでてきて、臨界になったと大騒ぎになったことがあるが、同定自体も難しい。

Q　こういうデータは比較しないとわからないと思うが、事故前、事故後の比較は行われてきたのか。
A　事故の以前の状態では存在しない物質があるので、一目瞭然だと思う。

Q　核種を同定するのが難しいということだったがなぜか。
A　放射性元素がたくさんあるので、ピークがたくさんある。一個の各種だけではなく、たとえば、崩壊核種が子供、孫核種など出てくるので、同定するのが難しい。セシウムやヨウ素など量が多いものは比較的簡単だが。

環境中の挙動 (Slide 19)

- ガス状で放出された物質は粒子状で放出された物質より量が多い、また、拡散しやすい。セシウムの分布はかなり広がる。拡散の程度は、セシウム > プルトニウム, ストロンチウム。チェルノブイリ事故の後、セシウムは200キロ以上離れているところにも、雨による降下高汚染地域がある。セシウム汚染はヨーロッパにも広がった。(村上補足：炉心の爆発で上空高くまで大量のセシウムが放出されたのも一因。)　プルトニウムは粒子として放出され、大部分は30キロ内にとどまり、その多くは数キロ圏内にあった。

- 土壌中の動き：ストロンチウム > セシウム (土、生物相に吸着) > プルトニウム (水に不溶)
土壌の中ではセシウムよりストロンチウムの方が動きやすい。プルトニウムは粒子で存在するので水に溶けず、あまり動かない。セシウムは水に溶けるが、土壌に吸着しやすいので土壌表面近くに留まる事が知られる。ストロンチウムは水に溶けて、吸着が少なく、地中数メートルまでしみ込む事が知られている。

Q　植物への移行と吸着は違うのか？定義の違い？
A　吸着は土壌粒子の表面に化学的にくっつくこと。ストロンチウムに比べてセシウムは土壌に吸着されるが植物には吸収されにくい。植物への吸収は、ストロンチウムの方がセシウムより大きい。吸着しないものは土壌中を水の流れに従って動く。

Q　事態が長期化すると、汚染される場所が広くなるのか、汚染された場所がひどくなるのか。
A　今の段階で大気中への放出はかなり押さえられている。実際、モニタリングではかなり放射線レベルは落ちている。外に出てしまったものがどこにどう動くかが大事なのではないか。

Question (Slide 20)

Q　食物に関する汚染、防護について。
A　同列元素上での推測が可能。例えば、カリウムが多い食品はセシウムも多いかもしれない

と。防御に関しては、大気中拡散の場合は、セシウムは水溶性。水を含む布で窓を目張りするといい。しかし、大気拡散はもうあまり心配しなくてもいいのではないかと思う。

Q　今心配されている内部被曝に関して。
A　土壌中のものが米にうつることに関しては研究がされていて、移行係数は0.1というコンセンサスが得られている。玄米1kg中のBq数 / 土壌1kg中のBq数 = 0.1 (長崎)
(村上補足：すべての食物に研究データがあるかはわからない。これから、詳細な研究必要。)

放射線の生体への影響 (Slide 21)

- この写真はJCOの事故で亡くなった大内さんの染色体。染色体が切断・変形している。放射線はDNAを損傷する。放射線が直接二重螺旋構造を切断する、また、放射線がイオンを発生させることにより、ラディカルがDNAを損傷。
- 影響の大きい臓器は細胞分裂が多い臓器 (造血細胞、生殖腺等)。同様の理由で、細胞分裂の多い、成長期の子供、乳幼児への影響が大きい。
- 大量に浴びると細胞が自分で死ぬようにプログラムされているので、細胞死ということになる。少量の場合はDNAの変異につながって、将来的なガンの原因になる。ただし、DNA損傷は修復機能があり、二重螺旋の1本が切れてもたいてい直るし、2本切れても修復する機能がある。(補足：がんになるのは損傷がうまく行かないとき。よって影響が確率的) 自然放射線、紫外線、たばこなどの日常のDNA損傷因子による損傷も、これによって修復されている。

Q　JCOはどのような事故だったのか。
A　臨界事故で、作業員の方が中性子を一気に浴びて亡くなった。一気に浴びてしまうと修復機能が追いつかなくなる。

放出物質の生体中の挙動 (Slide 22)

- セシウムは筋・全身にたまる。しかし、体外への排出により100日くらいで体内の量が半分になる。排出による半減に要する期間を「生物半減期」という。冒頭に紹介した本では、チェルノブイリの近くの村で、筆者がセシウムのたっぷり入ったきのこを食べていた。そして、体の中からの放射線を自ら測り、体内のセシウムの減衰を記録していた。セシウムは体にたまらないと知っていたからできたのだと思う。
- ストロンチウムは骨にたまるので、排出により減らない。白血病や骨ガンの危険が高まる。
- ヨウ素は甲状腺にたまる。

Q　ヨウ素の物理半減期が生物半減期より短いのはなぜか。
A　生物半減期は、物理 (放射性) 半減期がないと仮定した場合、ある時点で体内に入ったヨウ素の量が半分になるまでの時間の長さ。ヨウ素は体に入ってしまうと、体内から排出されに

くい。実際には放射性崩壊の方が早く、体の中からは双方の効果が重なって消えていく。

Q　どれが一番危険なのか。
A　いったん取り込んでしまった場合には、たまるものが危険である。(村上補足：個人的にはストロンチウムが一番心配です。放射性半減期が長く、かつ、体から排出されにくいので。カルシウムと似ているので、子供の成長期に特に取り込まれやすいようです。骨にたまるということは、背骨近くの造血細胞の近くにも多く存在することになります。今回、ストロンチウムはあまり出てきていないと言われていますが、測定が難しい元素でもあり、注意が必要だと思います。)

Q　避難区域で野生化した家畜を使って実験することなどはできないか。
A　考えられるが、科学的な実験には何をどれだけ食べているかなどコントロールする必要がある。

低線量における影響 (Slide 23)

- チェルノブイリでは、幼児期の被曝による甲状腺がんの増加があった。甲状腺がん「しか」見つかっていないという人もいるし、受け止め方は個人によって違う。
- 基準は安全側にできている。 例えば、「一日 (X) kgを食べる/飲むことを「毎日」続けた場合に一年間で (Y) ミリシーベルト以下になる、もしくは、がんになる確率が (Z) %上がる。」と仮定があり、(Y) や (Z) が小さくなるように、放射線物質の許容含有量がきめられる。
- ただし、自分の子供なら100万分の1上がるのも嫌だという感情はもっともだと思う。

Q　今出されている基準は、YとZと両方か？
A　(Y) と (Z) が線形に関係しているという仮定に基づいている。放射線だけを考えている場合は (Y) だけでいいが。がんになる確率は他の因子 (タバコ等) と比べるのに役立つ。

- 低量の被曝は逆に体にいいという人もいる。(安)

- 低線量でも影響はあるという説もある。例えば、ウクライナ人でチェルノブイリの汚染の研究をしていた知り合いは、「低量の放射線は免疫を弱めるので、いろいろな病気で亡くなっていく。統計はとれない。」と否定できない説を持っている。また、「科学的」にもいろいろな結果がある。例えば、チェルノブイリで何人ガンになったかというのは、数十人から数万人まで非常に説が大きく分かれる。統計が非常に取りにくい分野。

- ただし、低量の影響がわかりにくいというのは、農薬、重金属、環境ホルモン、携帯電話等でも同様である。国は基準をつくる必要はあるが、基準以下の部分は個人の判断にゆだねるべきだと思う(例えば、農薬が嫌で有機野菜を買う人もいるし。水銀が心配でまぐろを食べ

ない人もいる)。

- 子供優先は重要。60代の人がペットボトルの水を買い占めていたと記事を読んだ。それで、子供に行き渡らないことがあれば非常に問題。

Question (Slide 24)

Q　子供への影響が心配されるということだが、世代別でどのようにリスクが変わるのか。基準値はなぜ一律なのか。

A　世代別の基準値に関しては、科学的判断も難しい。広島のデータもあるが、一気に浴びる場合と長期であびる場合も違う。今乳児に関しては別基準がある。 ただ、出荷規制等は基準値がいろいろあっても混乱するのではないか。

Section3　環境修復

Hanford Site WA -旧核兵器工場 (Slide 27)

長崎の原爆のプルトニウムが作られたところ。サイト外にはワイン畑が広がっていて、どこが境界か一目瞭然でわかる。日本人にとって驚きなのはその広さ。50km四方あり、端から端まで車で一時間かかる。全米で一番汚染されている土地といわれている。アメリカでは、他のサイトも含めて年間60億ドルが環境修復に使われている米国エネルギー省内では、科学予算よりも大きい。

Hanford Site WA -汚染源 (Slide 28)

様々な放出元があった。川沿いには9基原子炉があった。中央部には再処理工場や高レベル汚染水をためるタンクがある。タンクや地下のパイプからは漏洩があるとわかっている。ただ、中央部は小高いところになり、地下水表面はかなり深い。雨も少ないので、地下水にまだ達していない。川の下流側には燃料工場、R&Dサイトがあった。低レベルの汚染水はそのまま地面に捨てられていた。

Hanford Site WA -現在の汚染物質 (Slide 29)

放射性物質から有機系汚染物質まで様々な汚染物質がある。有機化学系の汚染もひどい。 低レベル汚染水が捨てられていたところでは、ウランがおもな汚染物質である。

環境修復 - 技術 (Slide 30)

- 高レベルの汚染土壌：表面土壌は除去、敷地内に貯蔵。
- 除去：有期化合物には様々な除去方法、分解方法があるが、重金属系(放射線物質)は難しい。地下水をくみあげて処理してから戻す pump-and-treat は非常にコストがかかり、地下の不均質性により限界がある。植物による除去は研究段階。
- 除去でなく固定化が主流となりつつある。物理的に固定する方法から、化学的・ 生物学的ま

で、様々な技術・研究がある。固定化＝汚染除去はあきらめているといえるが、費用を抑えて環境影響を抑えるのには効果大。固定化は100%完璧ではないが、少量ずつ放射性物質が出ていくことになるので地下水中の濃度が低くなり、環境基準以下にできる。

環境修復 - 前提 (Slide 31)

- 環境修復は前提となる将来の土地利用を考えるのが重要。
- ハンフォードは、2050年をめどに環境修復が終わる予定だが、表面は無制限利用、地下利用 (発掘、穴掘など) は制限。地表面にバリアをつけて雨水が達しないようにする。
- 完全に除去しない事について：お金をけちっているのではなく、限られた財源 (税金) を他に使ったほうがいいのではないか (福祉、科学等) という議論がある。また、土壌の除去の際など、作業員の健康リスクへの考慮もある。(汚染物質の運搬等)

Hanford Site WA - Organization (Slide 32)

環境規制機関 (EPA)、州政府、原住民のグループ等、複数の独立の機関が監視をする、意見を交換する仕組みがある。日本でも、国に一元化するばかりではなく、地元自治体・住民グループが独立に監視、建設的な意見交換ができる仕組みが必要。日本の環境省が独自に検査しない (検査機器を持っていない？) のは非常に問題。

環境修復の重要点 - 住民の合意 (Slide 33)

ハンフォードの環境修復に携わるエネルギー省や会社の人達みんなが言っている事。住民の合意を得るためには、「タバコよりリスクが少ない」などというような数字はあまり意味がない (もちろんリスクが少ない事が最低限であるが)。事業者の態度、地元自治体とのコミュニケーションが重要。計画を決めてから / 報告書をまとめてから、一方的に地元自治体や住民に提示するよりも、計画段階で住民・地元自治体と意見交換をし、意見を取り入れていくのが重要。

Rocky Flat (Slide 34)

- 旧核兵器組立工場。会社の管理が杜撰で、火事がおこったり、漏洩が起こったりした。今も、プルトニウム等の低濃度の汚染。リスク評価の後、公園として解放。
- 土壌汚染の除去：莫大な費用がかかる。土壌除去の過程で舞い上がった塵が拡散して、敷地外にも広がる恐れがある。作業にかかわる人も健康リスク大。そのままにしておくのほうが総合的によいと判断された。サイエンス誌にRocky Flatの環境修復に関する論文がある。(Whicker et al., 2004)
- 現在は National Wildlife Refuge (公園) (人が住んだりすると、穴を掘るようなことをしないといけないので、そういうことが一番少ない土地利用)

プリピャチ市 (チェルノブイリから3km) (Slide 35)

- 最初は表面土壌除去等環境修復が試みられたが結局断念。代表的な理由としては、土壌除去がされていないところから、放射線物質が再拡散し二次汚染。長期にわたって、作業員の慎重さ・ 綿密さを保つ事も難しかった。
- 結局今は誰も住んでいない。
- その後のモニタリングで、局所的に放射線レベルが高いところが発見された。例えば、塵のつもりやすいところ (建物のすみ) など。家の出入り口付近も放射線レベルが高かった。これは、人の移動が汚染の拡散に影響を与えたことを示している。

Question (Slide 36, 37)

Q 風評被害に対して私たちはどう対処すればいいのでしょうか。例えば、福島県から避難してきた人の宿泊を拒否しているホテルに、その様な差別はナンセンスだと、どう言えば理解してもらえるのでしょうか。

A 汚染がひどい地域に、一ヶ月間人が自由に出入りできたのは非常に問題。実際、研究所等にある (普通の人が出入りできない) 放射線管理区域でも考えられないレベルの汚染が広範囲にある。もちろん、量は少ないと言い切れるが、持ち物や体に放射性物質がついているかもしれず、放射性物質の拡散は可能性としてあるし、ホテル側などは調べる (計測する) すべがない。もっと早い時期に立ち入り区域にするべきだった。

村上補足：もちろん、放射線物質 / 放射能が伝染病のように移ると言うのはナンセンスです。ただし、放射線物質に対する恐怖を、すべて無知で片付けるのも危険だと思います。何がナンセンスなのか、何を気をつけるべきかを判断する知識が必要なのだと思います。

Q 放射線物質の拡散状況？

A まだ細かいサンプリングが必要、広がり方は非常に不均質 (同心円状に汚染されるわけではない)。

チェルノブイリの例：爆発が起こったときに風が吹いていた方向に向けて帯状に汚染物質が広がった。帯の幅は細いところは数キロ。サンプリングが少ないと、高汚染地域を見逃す可能性がある。

村上補足：来月、研究者の方々が大規模な調査をされるようです。
http://www.asahi.com/national/update/0427/TKY201104270600.html?ref=reca

福島原発 - 現状 (Slide 38)

遠くまで汚染が広がっている。東京でも、核実験時のピークの年間量以上のセシウムが降下した。 福島県内の汚染の状況は深刻。飯館村の土壌中のセシウム量はチェルノブイリ後の強制移住区域水準のところもある。大熊町のレベルは非常に高い。福島市でも、学校校庭の

放射線レベルはかなり高い。放射線· 放射性物質を扱う仕事をしている女性の基準値は3ヶ月で5mSv (ミリシーヴェルト) 、一年で20mSvである。それに比べても高い。原子力安全委員の代谷先生も子供には10mSvにするべきと言っていたが、子供に20mSvは高いのではないか。

村上補足：4月29日に東大の小佐古教授が参与を辞任する原因にもなっていました。「自分の子どもをそんな目に遭わせるのは絶対に嫌だ」というのはもっともだと思います。

福島原発 - 環境修復の可能性 (Slide 39)

- 政府は6〜9ヶ月後に住民が帰れるかどうか判断すると言っている。風に飛ばされたりして濃度が下がる自然希釈に期待しているのかもしれない。　ただし、プリピャチ市でも見られたように、放射性物質がたまりやすい箇所には注意。
- 表面土壌除去は効果的な方法である。ただ、面積が広いと難しい。成功は、科学技術というよりも、作業員がいかに注意深いか、綿密かにかかっている。また、塵が舞い上がるので、作業員の健康被害、再拡散の可能性もある。また、汚染土壌をどこへ持っていくかは、国土の狭い日本では問題になる。
- 粘土等で放射性物質を吸着して除去は可能だと思う。ただ、均一に覆う事ができるかという問題がある。汚染粘土をどこへ処分するかも問題。
- 植物で吸収させることは研究されている。ただ、時間がかかる。また、均一に植えられるかという問題もある。
- 埋め立てて表面利用だけに制限することは汚染土壌の処分の問題がない。粘土等で放射性物質を地下で固定することもできる。ただ、粘土等で覆ってしまうと、地下からの水分の蒸発量が少なくなり地下水面が上昇してくる。放射性物質を浮き上がらせてしまうかもしれない。
- 基準を上げるというのは基本的に避けるべきだと思う。特に子供には。村上補足：冒頭でに紹介した本にも出てきますが、チェルノブイリの管理区域内にも人は住んでいます。その場所に愛着があるなど自らそれを選んだ人達です。ただし、子供はいません。最悪の場合ですが、住民に選択肢を残すのはあってもいいのではないかと思います。特に、お年寄りの方には健康影響も少ないでしょうし。)

福島原発 - 考慮すべき点 (Slide 40)

- 環境修復も大事だが、住民のサポートに優先的にお金をかけるべき。
- どれだけお金をかければ人が住めるか· 農業ができるかの評価が必要。
- 核実験の行われた太平洋のロンゲラップ島では、表面土壌除去の後、そこで育った食べ物を食べないという条件で人が住んでいる。
- 住民の意思決定を尊重すべき。
- 住民の計画段階からの参加が重要。

- どこにお金をかけるか、優先順位を明確にするべき。住民のサポート、これ以上汚染が広がらないようにするのは最優先。廃炉、原子炉建屋の撤去などは、崩れないようにする等の安全対策以外は優先順位が低くてもよい。(村上補足：早く撤去して国民に早く忘れて欲しいなどと考えていないといいのですが。)
- 政府などは認めがたいだろうが環境汚染除去技術にも限界があることは考慮すべきである。
- どれくらい福島の原発の地域が汚染されているのか正確な把握が重要。
- 原発敷地内が非常に高レベルで汚染されてて除去がかなり困難なのであれば、汚染土を敷地内に保管するという選択もある。日本は土地がないの処理施設を作るにもどこに作るのかという問題もある。

最後に (Slide 41)

"Fear is useless. It does not help you. Stay calm.
It is the most important for you to make your own decision if necessary.
…
After all, we have to live with it. "
Dr. Boris Faybishenko

彼は、チェルノブイリ事故が起こった時に90kmのところにいたそうです。窓枠の放射線レベルが高すぎて取り替えなければならなかったと言っていました。その後、彼はチェルノブイリ周辺などの汚染評価・環境修復の研究に携わっています。事故が起こって間もなく、私がパニックになりそうだった時に頂いた言葉です。最初のパラグラフはもう関係ないと思いますが。最後の一文がこれから大事なのではないかと思います。

日本はこれから大変だと思います。もちろん、避難している方々が一番大変だと思いますが、観光業・輸出業など日本全体でダメージを受けています。うちの実家も青森の駅前で商売をしていますが、大変です。また、これから原子力がなくなると、青森県は逆に経済的・財政的に非常に厳しくなります。私の母もそれを心配しています。東京で夏にクーラーがないというところから、6〜9ヶ月も避難しなければならないという人まで、多くの人が大なり小なり痛みを抱えていくのだと思います。
でも、どんな状況でもその中で生きていかなくちゃいけないのだと、彼に言われました。

村上補足：原子力の是非について、一言付け加えておきたいと思います。現状を目の当たりにして、原子力推進と手放しで言える人はいないと思います。ただ、彼は、チェルノブイリを経験し、低量被曝の健康影響を確信していますが、それでも、原子力は必要だと言っています。原子力関係の方々は、未だに、放射線の健康被害はそんなに悪くな

い、恐怖は無知からくると言ってごまかそうとしているように思います。それでは、今まで原子力は絶対安全だと言ってきたのと同じです。原子力産業は一般市民を馬鹿にしていると、私は子供の頃からずっと思ってきました。ある有名な先生が、住民が原子力を受け入れないのは科学の理解が足りないからだと言っていたのを聞いたこともあります。私には、一般の人が知りたい核心部分を説明せず、いつもごまかしているだけのように見えました。私も原子力は必要なのだろうと思うのですが、そういう人が業界に多いのであればやめるべきだと思います。一般市民もリスクを理解しつつ、それでも正しい判断ができるのだと私は信じています。

以上講義、以下参加者からの質問

Q1 Hanford Site について、ここの土地は誰の所有地なのか。このような問題を考える際、土地の所有者が誰かは重要だろう。また、廃棄物はどこに持っていったのか。

A　Hanford Siteは第二次世界大戦の時期にプルトニウム製造工場が建設されたところで、非常時ということで、強制的に国へ召し上げられたのだと思う。

A　エネルギー省は、低レベル廃棄物はHanford Siteに置き、高レベルの廃棄物はYucca Mountainに持っていく予定だった。地元とエネルギー省との間で、高レベルと低レベルの線引きをどこでするのか、せめぎあいが何十年も続いている。地元はなるべく受け入れる廃棄物の量を少なくしたい。(安)　(編注：高レヴェルだと汚染地域から出て行き、低レヴェルだと汚染地域に留まるという矛盾した構造のため。)

Q2 汚染物質を一か所に集中させるという意図は？

A　持っていこうという話ではなく、どのくらいの規模か、という話で、六ヶ所村の例を出した。六ヶ所村は売約済の場所。(安)

A　福島の発電所の敷地がどれくらい汚染されているのか、どのくらい時間がかかるのかによっても変わってくるだろう。敷地内で保管するというのは可能性としてあると考えられる。六ヶ所村の廃棄物は容器内に入っていて、外側は全く汚染されていない。自然界にでてしまったものを除去するというのはとても大変。地中も均質ではないので、これから莫大なお金がかかると思う。

Q3 二番目のケースで、National Parkにしたとあった。なぜ、汚染されたところは公園にするのか。

A　人が住むとなった際に家を建てる必要があるが、汚染土壌を掘り返す過程でまた塵が舞ってしまい、二次拡散が起こる可能性がある。穴を掘るなどしない土地利用として、公園にしての管理がある。

Q4 お米の希釈の話をしていたが、水俣での有機水銀の公害のように食物連鎖で、濃縮しくこと

はないのか？

A　ストロンチウムは骨にたまる、水銀は有機化合物になってたまっていくなど、過程はわかっている。そういう過程はセシウムでもヨウ素でもわかっている。

A　生物濃縮については、考慮に入っている。牛が草をたべ、ミルクにはいる。全部がミルクにはいるわけではなく、その割合、ファクターというのはわかっている。おそらく、海からのものはよくわかっていない。いままで海産物をしっかり食べて暮らしている例を同じくらい詳細に調べているか、ということはわからない。(安)

Q5 ヨウ素剤について。プルトニウムなどについて同様なものはあるか。

A　ない。なぜないのか、と聞かれると、ヨウ素剤が効く、というのは体内に吸収される量が決まっていて、正常なヨウ素が相対量で圧倒するから。正常なプルトニウムの摂取というのはない。少量のヨウ素の摂取については、日本人は海産物をたくさんとっているので大丈夫、という人もいれば、量が少ないので関係ない、という人もいて、どの説が正しいか、いいきれないところがある。(編注：人体の中で、甲状腺ホルモンを合成する際に原料としてヨウ素を蓄積している。生体は同位体が判別できないので、放射性のヨウ素131が体内に入る前に、放射線を出さない安定元素であるヨウ素127で飽和させてしまい、新たにヨウ素が体内に蓄積しないようにするのが、ヨウ素剤の対処療法である。プルトニウムは体内にはもともとないので、同じ方法は使えない。)

Q6 広島や長崎の例から汚染の広がりとその後の経過は予測できないのかわからないのか？

A　広島の原爆のウランの総量は250kg。その一部が核分裂を起こした。原子炉一つに入っているのはウラン燃料100トン。その一部がでてきている。250kgのウランからでてくるヨウ素は小さい。なので比べられないと思う。広島はもっと少ない。(安)

Q7 家畜や魚介類に関する報道はあるが、野鳥やネズミについての話を見かけない。野鳥やネズミ、渡り鳥がよその地域に行って二次汚染を起こす可能性についての考え方を伺いたい。

A　絶対ないとは言えない。プリピャチ市では、靴の裏についていた汚染が汚染を広げることがあったので、それと同様に100%ないとはいえない。(村上補足：ただ、量・濃度はかなり低いのではないでしょうか。)

A　野生生物についてはNational Geographicに、Washington州、Hanford Siteでウサギがぽとぽとと落とすものにプルトニウムが入っていたという記事があった。動物の動きによって広がることはある。(編注：2010年10月号に、ウサギやアナグマなどの動物によって拡散した放射性物質に対策が講じられることを報じる記事がある。
http://news.nationalgeographic.com/news/2009/10/091021-radioactive-rabbit-droppings-nuclear-obama-stimulus.html)
以前、太平洋に低レベル廃棄物を投棄しよう、という話があった。生物学者によると、鉛直方向の放射性物質の移行は生物が関与する可能性が高い (小さなバクテリアが海底にたまっ

た放射性物質を食べて、小魚がたべて、魚が食べてクジラが食べて、という食物連鎖で移行する) ので、物理的に海流などで予測するのにも限界がある、とのことだった。(安)

Q8 福島の原発に関して言えば、こういった事故が起きうることを前もって批判されていた方がいるという。日本には50個を越える原発がある。たとえば浜岡は福島と同型で、東海地震、500年に一度の大きな地震が起きたらどうなるのか？

A　もし何かあったら今の状況より悪くなるだろう。日本上空は主に風が西から東に吹いている。福島でも、かなり多くの量が東側に抜けていると考えられる。(村上補足：いくつか発表された大気拡散シミュレーションの結果でもだいたいそう言う結果になっています)　浜岡で何かあったら、東京が東にある。技術的なことで何か言えるとすると、米国では当然だった改良を東電・日本の規制機関は無視した、という事実が言われている。また、もっと早くにベントしていたら、ここまで悪くなることは避けられたのでは、ということも言われている。技術的な問題は多々あるのではないか。人災の部分は直せるので、そういうところを調べて直していただきたいと思う。(村上補足：逆に天災と片付けてしまうならば、もう原子力はやめたほうがいいと思います。自然はいつも「想定外」なので。)

Q9 強制立ち退きをさせられた人が不満がたまって、土を東京に持って帰ったりしたらどうなるか。

A　社会的なインパクトはあると思うが、3キロ圏内の土地であったも、人がすぐに死ぬようなレベルではない。そこまでレベルが高くないだろう。かなりの量をもっていかなくては、人体に危害を与えるようなことにはならない。ただし、敷地内の高レベルの瓦礫を誰かがもってきたなどということが起きたら大変だと思う。

以上教室での講義終了

付録：原発で働き、1997年に亡くなった「平井憲夫さんの手記」が、ネット上で広がり、みなさんも目にしたことがあるかと思います。(http://www.iam-t.jp/HIRAI/index.html)
先生方に手記に関するご意見を伺いました。安教授のご意見をご紹介します。

平井さんが記述しているような現場のどろどろとした状況は、かつて私が学生のころ、医学部の吉澤先生の放射線健康管理学という科目で教えていただいたように記憶しています。平井さんが記述していることはおおむね的を射ていて、細かい誤謬をあげつらって反論することにさほどの意味があるとは思えません。産業における階層構造 (参謀本部にいるエリートは決して手を汚さず、前線は泥水につかっているという状態、あるいは産業政策を論じている通産省エリートと炭鉱の奥深くで働いている人など) が原子力産業にもあって、もっと悪いことにエリートがエリートとしての要件すら満たさない (かもしれない) というところに、彼の指摘の意味があると思います。吉澤先生は70年代後半すでにそのことを指摘されていて、東大の学生は

将来そのことに十分思いをいたしながら仕事をせねばならない、とおっしゃっていたのを思い出します。放射線を浴びて狂い死にするネズミの解剖と合わせて、学生一同粛然としたものです。平井さんの指摘は、そのような状況が21世紀になっても存在していることを示していて、過去30年間日本において、そのことを改善することを動機とした技術開発が本気で行われていなかったのではないか、と疑わせるに十分です。そういう方面から、現在の事故の当事者の信頼性を疑うというのも、理解できるつながりだと思います。

技術そのものへの不信というところもあると思いますが、「専門家側の「安全」についての説明も、あくまでも技術への「自信と信頼」を背景に組み立てられてきた」のはどの技術においても同じことで、事故が起きれば、昨年のBPの時と同じで、早く解決しなければいけないのは当然のこと。解決しない間は技術の対するもどかしさや不満がたまるのも同じことだと思います。そして、BPの時が示すように、事故が収束すれば論調も大きく変わる (忘れる？) のもよくあることです。今の煮詰まった状況に基づいて、原子力に特有のことのようにしてしまうのも時期尚早のような気もします。

監修：安俊弘教授 (UC Berkeley)、長崎晋也教授 (東京大学)

講義録収録：大野志保、白水美佳 (UC Berkeley) 、寿楽悦子
校正、校閲：村上治子、安谷屋秀仁、寿楽悦子
編集：寿楽浩太 (UC Berkeley)、村上治子、鈴木なお (Lawrence Berkeley National Lab)
発起人：校條浩 (東大桑港赤門会)
会場：田辺さとる、谷口博基 (UC Berkeley)
協力：JGRB (Japanese Graduates & Researchers Society at Berkley)、東大桑港赤門会
お問い合わせ： Nao Suzuki (nao.suzuki@gmail.com)