

## 「内湾域における有害化学物質汚染の実態解明、将来予測手法の開発、生物および生態系への影響評価に関する研究」

独立行政法人港湾空港技術研究所  
海洋・水工部沿岸生態研究室長  
中村 由行



ただいま御紹介いただきました、港湾空港技術研究所の中村と申します。

長いタイトルが付いておりますけれども、特に海の底泥中の有害化学物質というものを中心にとらえた研究であり、この写真にありますような施設を14年度に竣工しましたが、ここを中心にして研究を強力に進めていきたいというふうに考えております。(資料:1)

なぜ、港湾あるいは沿岸域の底泥なのかということですが、私どもの研究所はもともと国土交通省の港湾行政とつながりの深い研究所でございます。港の中というのは防波堤等で囲って非常に深い静かな海域をつくっておりますので、有害化学物質がもし排出されると、かなり底泥に蓄積されやすいような構造を持っております。

片や船舶が最近大型化してきまして、浚渫事業を港湾の機能を維持するために実施する必要がございます。つまり、港湾とは有害な物質がたまりやすく、またそれを動かす必要が生じる可能性が非常に高いという場所です。

最近の行政面で非常に大きな問題になっておりますのは、廃棄物の海洋投入に関するロンドン条約です。例えば、港湾の浚渫の場合について申しますと、それまで特に一般廃棄物扱いではなかった浚渫土砂も廃棄物と同じような取り扱いになって、安全性を十分確認した後で、はじめて海洋投入が可能になるような仕組みが間もなくできようとしております。浚渫土砂は、現在、海洋投入の割合は少なく、干潟や浅場づくりに利用するような有効利用がそれなりに図られています。そのような場合にも、条約の対象外ですが、生態系へのリスクというものが潜在的にあるということに注意して事業を行わなければいけないという状況でございます。(資料:2)

そこで私どもは、平成14年度に、研究施設をつくりまして、港湾あるいは沿岸域の底泥を中心とした有害化学物質の環境動態解析、さらに将来的には底泥が安全かどうかということ判定できるようなバイオアッセイ系を目指した研究を進めているところでございます。(資料:3)

「研究の展開」としては、まず沿岸域にどれくらい、どういう場所に有害化学物質があるのかという実態把握をまず十分した上で、その結果を基に、環境動態のモデル化をしたいと考えております。具体的には、有機スズ類のような港に特有な汚染物質に、まずは取りかかりたいと思っておりますけれども、方向性としては一般的なモデルをつくりたいと

考えております。

さらに、汚染された底泥を浚渫などで動かすとすると、あるいは汚染された底泥が存在し続けるとすると、水中の生物にどのような影響があるか、生物・生態系への影響評価に関する研究を進めたいと考えております。まとめますと、以上述べた大きな3つの柱になっております。(資料:4)

まず「研究1」の実態把握調査でございますが、これは我々独自の調査に加えて、既に環境省、国土交通省の港湾局、さまざまな財団あるいは大学等における調査がございますので、そういった調査結果をとりまとめ、足りない部分は我々の独自の調査をしようというふうに考えております。(資料:5)

例えば、国土交通省港湾局では、平成11年度、12年度に全国主要な港湾の底泥で、環境ホルモン物質として言われているような物質の実態把握調査が広く行われております。一例として、ダイオキシン、ノニルフェノール、TBTといった物質の分布の測定結果を示します。(資料:6)

もう少し具体的に、湾の中でのスケールでどういうふうに物質が分布しているか。東京湾で様々な研究機関がされた表層底泥中のダイオキシン類の濃度分布調査結果を見るとやはり湾の奥、それも東京側というよりは、どちらかという千葉側の方に少し偏りがあるような分布になっております。(資料:7)

こういう分布はよく調べますと、泥の含泥率、すまわちシルト・粘土分の割合が高い底泥の分布に一致します。すなわち粒径の細かいところに選択的にこういった物質が吸着して存在しているということがわかってきております。

今ご紹介しましたのは平面的な分布ですけれども、面的な分布だけではなく鉛直方向にも非常に特徴的な分布を持っております。別の研究機関がされたダイオキシンの分布と我々の調査で行いましたTBTの鉛直分布を見ると、恐らく両方とも過去の汚染履歴を反映した、少し深い部分に汚染の極大がみられるという分布になっていまして、こういう分布特性があるということを十分に踏まえた対策を取る必要があるということがわかってまいりました。(資料:8)

今までは東京湾スケールのお話をさせていただきましたが、もう少し小さな港スケール、港の中の分布はどうかということで、一例として名古屋港の中の表層底泥中のTBTあるいはダイオキシンの平面的な分布を調べた結果を紹介いたします。港の一番奥で比較的高濃度の汚染が発見されておりますけれども、港の入口に行くにしたがって濃度は減衰してまいります。(資料:9)

ここではTBTとダイオキシンの例しかお示ししておりませんが、物質によって港の入り口側への濃度低下率はかなり違いそうだとすることがあります。化学物質の物性値を考えれば、物質毎の分布の違いが説明できるかどうかを考えたいと思っております。

以上のような、既往の調査例あるいは我々独自の調査結果を整理いたしますと、まず水平的な分布だけを取りましても、港の中のやや小さなスケールの現象と、湾スケールの大

きなスケールの現象は、それぞれ固有の分布特性があり、区別して整理する必要があるだろうということでもあります。また、深さ方向の分布は、それぞれの汚染の履歴を反映して、必ずしも表層が一番高濃度であるわけではなくて、しばしば少し深いところに汚染のピークがあります。こういう情報というのは今後、汚染の対策を取る上で非常に重要な情報になってまいります。(資料：10)

2番目の研究でございますけれども、そういう実態把握を踏まえて、どうしてそこに物質がそのようにたまってきたんだらうか。あるいは、様々な汚染のシナリオがある中で、今後どのように汚染の分布形態が変わっていくんだらうか、という疑問に答えられる環境動態の解析モデルをつくりたいと考えました。それが研究の2番目でございます。この図の中では、水、動きやすい表層の泥、さらにもう少し深い動きにくい泥の部分とに区別しておりますけれども、こういうモデルは将来的には水中生物への影響評価に使いたいと考えております。さらに、化学物質の形態を考えますと、泥の粒にくっ付いているもの、間隙水中に溶けて存在しているものがあり、それぞれの分配のされ方を調べて、それぞれが水中にどれぐらい回帰していくかを評価する必要があります。また、水中に回帰しないとしても、底生生物にそれぞれどれぐらいの暴露があるのかが評価される必要があるだろうと考えています。(資料：11)

化学物質がどれぐらい泥と間隙水とに分配されているかについて、色々な港、あるいは色々なタイプの底泥の材料で調べております。

従来より、例えば、T B Tの泥への吸着量については、それなりに研究はございますけれども、環境中にはプチルスズ類だけを取りましても、モノ、ジ、トリ、の形態がございますし、それらが混合して存在した場合の吸着特性というのは、単独の場合とはかなり違うらしいということがわかってまいりました。(資料：12)

以上のような知見が得られてきますと、まず深さ方向の分布がどうやって決まってきたのかというモデルができます。また、水平方向の分布がどうなるのかというモデルもできます。将来的にはそういうものを統合いたしまして、3次元のモデルにしたいとかがえておりますが、現状では鉛直分布モデル、水平分布モデル、それぞれ独立して取り扱っております。(資料：13)

まず、深さ方向にどのように化学物質がたまってきたんだらうかというようなモデルをつくってきております。

これはその一例でございますけれども、益永先生が以前、宍道湖でダイオキシンの鉛直分布を測定されておられますし、また、過去宍道湖にどれぐらい負荷があったのかを推定されておられますので、そういったデータを使って、深さ方向のダイオキシンの分布を再現するようなモデルをつくっております。(資料：14)

今度は水平方向のモデルでございますけれども、これも非常に概念的な格好で書いておりますけれども、例えば、名古屋港のように単純な矩形の形状をした内湾あるいは港ですと、水平分布の1次元的なモデル解析で十分だろうと考えています。(資料：15)

例えば、名古屋港の中で、汚染源に近いと見られる港の一番奥から港の入口に向かって、色々な物質の濃度が低下するわけですが、物質によって濃度低下率に違いが見られます。例えば、図の左下示したエストラジオールのように水に比較的溶けやすい物質ですと、表層泥の分布は余りはっきりしない。それに対して、濃度がすくと落ちてくるような物質、例えばダイオキシンの分布をみますと、割合きれいな指数関数的な分布を取っており、解析モデルでも十分表現できるということがわかってまいりました。(資料:16)

以上のように、環境中での色々な物質の動き方というのが少し見えてくると、あるいは分布の形が見えてくるとしますと、それではそういった物質が生物・生態系にどういうリスクを持っているかということになるわけでございます。

研究の3番目は、特に食物連鎖を通して底泥中の有害化学物質がどのように移行していくのか。その解析をしたいと考えておりまして、研究内容としては、メソコスム水槽を使った実験を行っています。(資料:17)

この研究の中では将来的にバイオアッセイ系の提案まで行くことを目指した研究も実施しています。更に、リスク解析も含めて、全体で3項目立てになっております。

例えば、泥の中の有害化学物質の評価という意味では、底生生物を使ったバイオアッセイ系を確立したいということがございます。一例として、横浜市立大学と共同研究している例を紹介しますが、底生生物として、ヨコエビを使ったバイオアッセイ系を、可能であればつくりたいと考えています。現在のところ、手始めに急性毒性の試験をやっております。(資料:18)

ヨコエビの急性毒性試験では、T B Tに対して例えば48時間のL C 50の値であるとか、生物濃縮係数というものが出てきているという段階でございます。(資料:19)

最後ですが、暴露によって生物の形態的な変化や組織の上での変化が見られるかどうかということです。いまのところ影響は確認できておりませんが、例えばこのような生殖器官への影響、形態の変化というものがヨコエビへの暴露で現れるかどうかという事が重要ですので、形態的な変化を調べる技術も開発しております。(資料:20)

以上、雑駁になりましたけれども、実態把握調査から始めて環境動態解析、更にはそれらを踏まえた生物影響の調査を、特に内湾の泥というものを基点に考えて研究をしているということでございます。

資料：1

化学物質リスキニシアティブ合同プログラム委員会2005年1月

## 内湾域における有害化学物質汚染の実態解明、将来予測手法の開発、生物及び生態系への影響評価に関する研究

～内湾底泥中の有害化学物質を中心に捉えた研究～

港湾空港技術研究所海洋・水工部 中村由行



平成14年度に竣工した沿岸化学物質実験施設

資料：2

## 研究の背景：ロンドン条約対応 緊急性・重要性(港湾行政の視点)

- ① ロンドン条約・・・廃棄物などの投棄による海洋汚染の防止に関する国際条約
- ② 平成8年に条約改定が採択。いままでは廃棄物扱いではなかったしゅんせつ土砂も廃棄物扱いになる。
- ③ 批准・承認国が26ヵ国に達した1ヶ月後に発効。
- ④ 数年以内に改定内容が発効される見通し。



港湾工事等から発生するしゅんせつ土砂が、ロンドン条約にもとづいて規制を受ける対象に・・・

資料：3

## 沿岸有害化学物質問題への次の一手... 沿岸化学物質メソコム実験施設

沿岸生態系、沿岸海域での化学物質の挙動を重点とし、新しい環境動態解明の世界へ...

### 分析

生物体内化学物質濃度 (ppb, ppq, ...)

安定同位体測定装置

分析: 種別が分かる標準物質に比べ、定量的に分析可能

定量的分析比 (F<sub>15</sub>) = (15N/14N)<sub>試料</sub> / (15N/14N)<sub>標準</sub> × 1000

実験

メソコム実験水塔を用いた実験施設

### 現地観測

内湾・港湾内において、環境化学物質の動態 (水平方向・深さ方向) 移流: 採取・沈降・巻き上げ・化学物質溶出

### 解析

堆積物中の化学物質の分布予測モデル

物理的現象 (潮流・沈降) と生物学的現象 (生物蓄積) の両方

解析: 堆積物中の化学物質は、生物蓄積によって濃縮される

環境化学物質の動態を予測するモデル

### アウトカム

生態系・生物蓄積の構造を明確化  
干潟・港湾底泥化学物質問題との関わりを考察  
内湾・港湾での有害化学物質対策に貢献

資料：4

## 研究の展開

- 沿岸域における有害化学物質汚染の実態把握

水・堆積物界面での物質フラックスや水中での動態に関する実験や観測

有機スズ等の吸着特性実験

・底泥中の有害化学物質の分布及び動態に関する実験及びモデル化

生物暴露 (毒性) 実験

メソコム施設を活用した、堆積物中化学物質の生物への移行実験

・化学物質の生物及び生態系への影響評価に関する実験

資料：5

- 研究1: 内湾域底泥における有害化学物質汚染の実態把握 (現地観測および資料解析を主体とした研究)

研究の材料

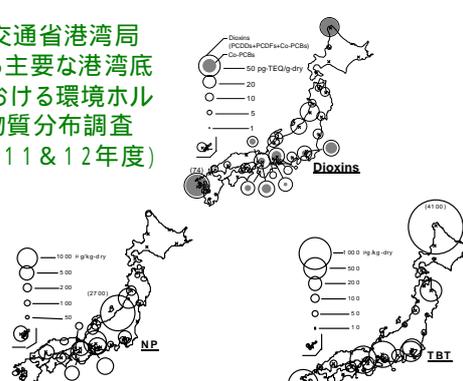
国土交通省港湾局、エコモ財団、大学等による調査

ダイオキシン類については三次元的な分布もある程度調査済み (例: 東京湾)

他の有害化学物質は多くが水平分布のみ

資料：6

## 国土交通省港湾局による主要な港湾底泥における環境ホルモンの物質分布調査 (平成11&12年度)



Dioxins (PCDDs+PCDFs+Cu-PCBs)

50 ppq TEQ/g-dry

200

100

50

10

5

1

10000 ng/kg-dry (27000)

5000

1000

100

10

1000 ng/kg-dry (41000)

500

200

100

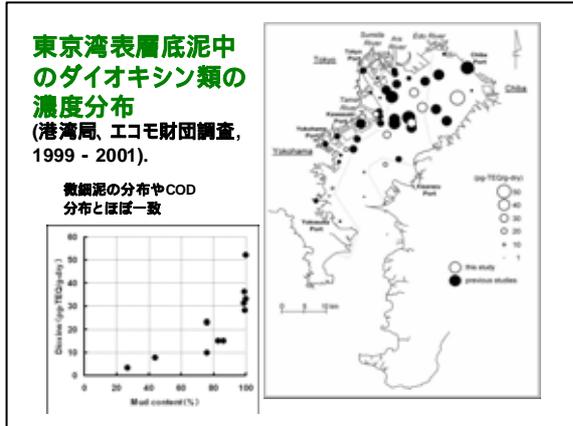
10

1

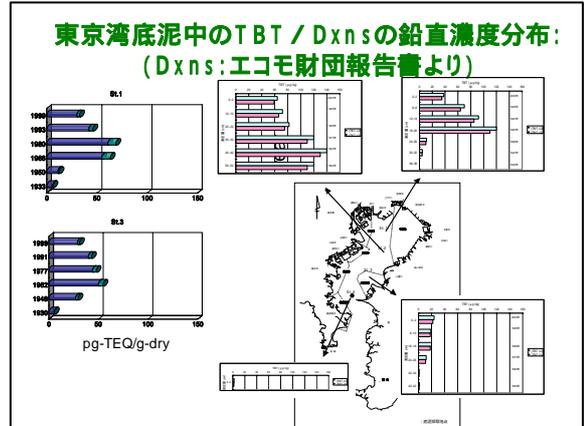
N.P.

T.B.T.

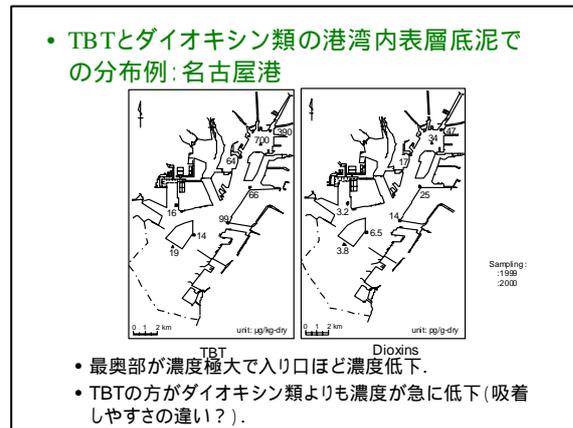
資料 : 7



資料 : 8



資料 : 9

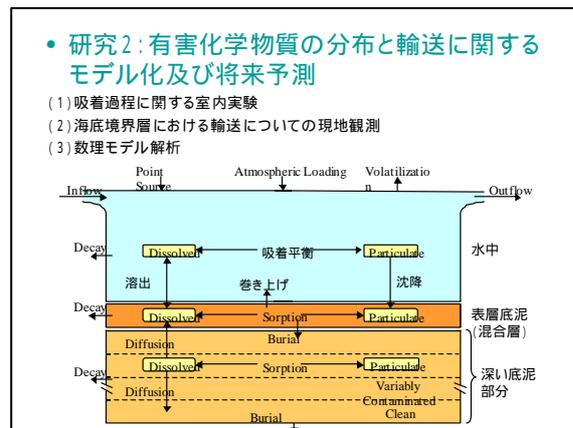


資料 : 10

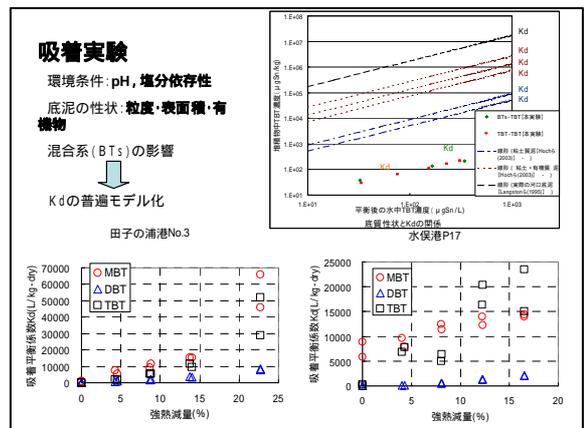
**既往の調査例の整理と解析の方向性**

- **港湾内スケール(数km程度)の水平分布**  
物質による水平濃度勾配の違いが見られる。水溶解度や吸着しやすさ(水・オクタール分配係数)の差を反映しているらしい。  
溶解度・水オクタール分配係数or水・有機炭素分配係数等による整理が可能。
- **湾スケール(数km ~ 50 km程度)の水平分布**  
微細粒子に吸着し、移動しているらしい。  
微細粒子の挙動に関する力学、特に海底境界層の過程は重要  
汚染の起源を反映し、物質によって分布が異なる(例:ダイオキシン類とTBT)
- **鉛直濃度分布**  
過去の汚染履歴を反映し、東京湾奥部では30cm程度の深さに汚染濃度のピーク(特にダイオキシン類)。鉛直分布を再現するモデル化が必要。特に底泥表層の混合層の扱い(波、漁業活動(底曳き)、生物攪乱(ハイオーバーシェーション)の区別)。

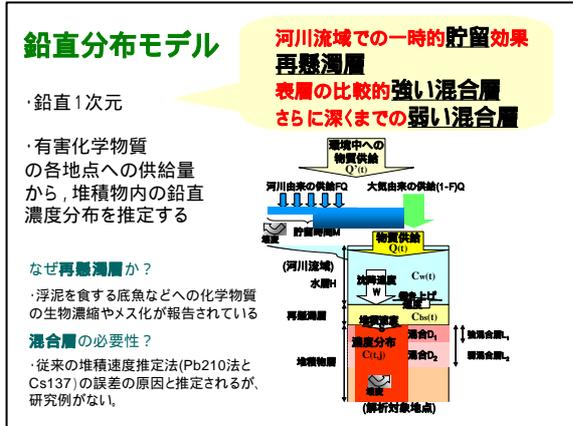
資料 : 11



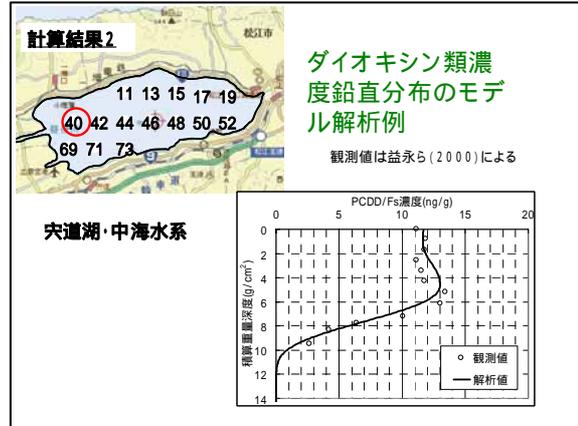
資料 : 12



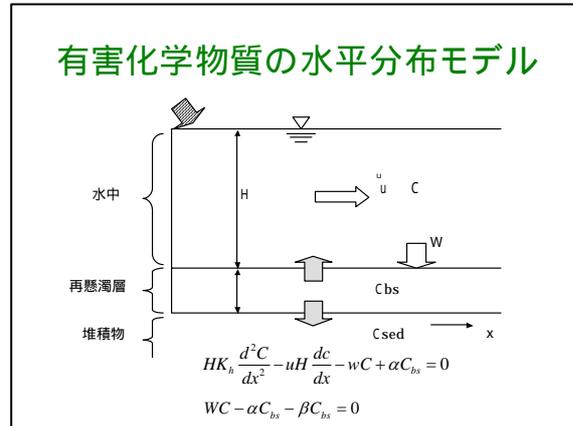
資料 : 13



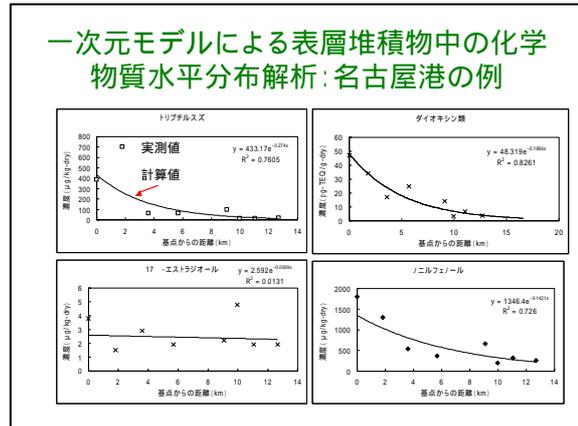
資料 : 14



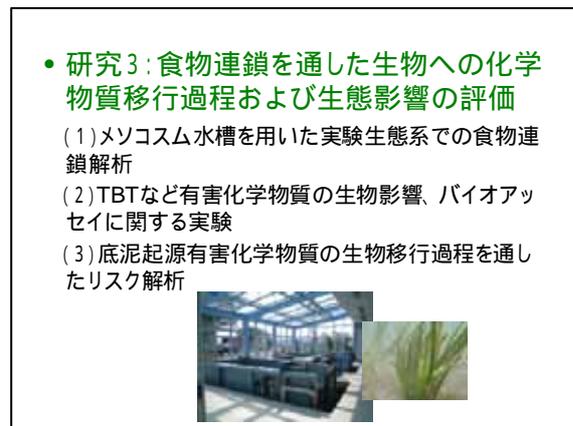
資料 : 15



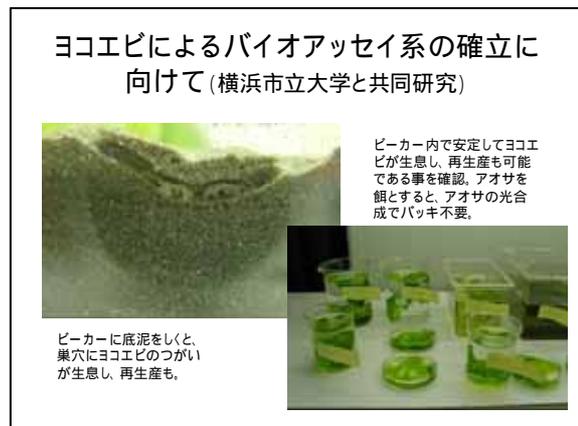
資料 : 16



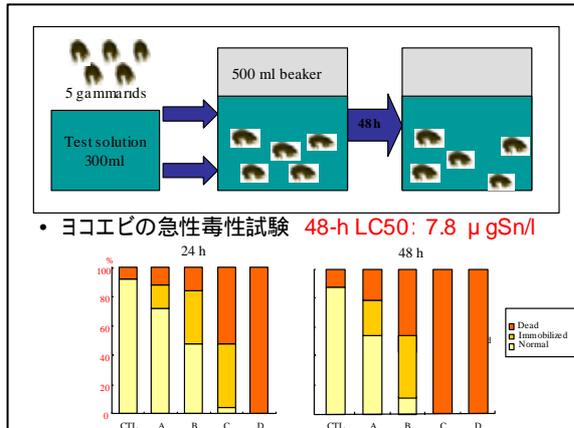
資料 : 17



資料 : 18



資料 : 19



資料 : 20

