

豊洲新市場における 土壌汚染解析

リスク工学グループ演習 4班

班員：201020652 尾池 響平

201020657 河田 貴泰

201020668 寺見 明久

201020674 古谷 俊晃

アドバイザー教員：羽田野 祐子

研究背景

現在の築地市場・・・

- 施設の老朽化
- 場内の狭あい化

⇒ **豊洲**への移転(2014年予定)



しかし・・・

豊洲は東京ガス跡地

土壌汚染

何が原因で汚染が広がったのか

汚染の流れと状況

汚染の流れ

- ① ガス生成プロセスにおいてタールスラッジが発生¹⁾
- ② 発生したタールスラッジを直接土壌の表面に置く
- ③ 対策されていない土壌からも有害物質が地中に浸透

汚染状況

約2000地点の土壌溶出試験分析試料での調査(H.14)²⁾

– 最大値の例

- ベンゼン: 1500mg/L (環境基準の1,500倍)
- シアン: 49mg/L (環境基準の490倍)

シアン化合物による健康被害

- シアン化合物とは
シアン化水素・シアン化ナトリウム等の総称
- 健康被害
 - 呼吸酵素中の鉄や銅と結合することにより組織呼吸を抑制³⁾
→ **短時間で死に至る可能性も**
 - 慢性的に摂取した場合甲状腺機能異常等の例がある

研究目的

目的

- 土壌問題の基礎知識及び解析手法の取得
- 豊洲における汚染物質(シアン化合物)の漏出後数10年にわたる濃度の変化予測
- パラメータが分析結果に与える不確実性解析

解析ソフト

- MODFLOW(汚染状況の分析)
- @RISK(不確実性の分析)

汚染対策法

目的

土壌汚染対策の実施→国民の健康の保護

内容

- 汚染の未然防止

有害物質の地下浸透、廃棄物の埋立方法の規制など

- 既に発生した汚染の浄化

環境基準の制定、地方公共団体の行政指導

➡ しかし様々な**問題点**が・・・

法の抜け道

附則3条

「法の施行前に使用が廃止されていた特定有害物質施設に係る工場の敷地だった場合対象にはならない」

- ✓ 1988年 東京ガスが豊洲での操業終了
- ✓ 2001年 豊洲の土壌汚染発覚
- ✓ 2003年 「土壌汚染対策法」施行開始
⇒東京ガスは法の対象外

 2010年**改正案**施行

改正案

- 1、 土壌の汚染の状況把握の為の制度拡充
→ 土壌汚染を指定区域にしやすくなる
- 2、 規制対象区域の分類等による措置の内容明確化
→ 指定区域からの具体的な分別
- 3、 搬出土壌の適正処理の確保
→ 汚染土壌の摘出に関する詳細な管理
- 4、 指定調査機関の5年ごとの更新
→ 調査機関の技術力の安定化
- 5、 調査機関における技術管理者の設置
→ 各調査機関の技術力の確保

しかし、
附則3条は改正されず・・・

汚染への対策(豊洲の場合)

○入れ替え

- ① 地表から2m土を入替

→環境基準を大きく超える土壌

- ② 汚染物質のある土壌を採掘し新たな土と入替
- ③ 盛土



○地下水の汲み上げ浄化



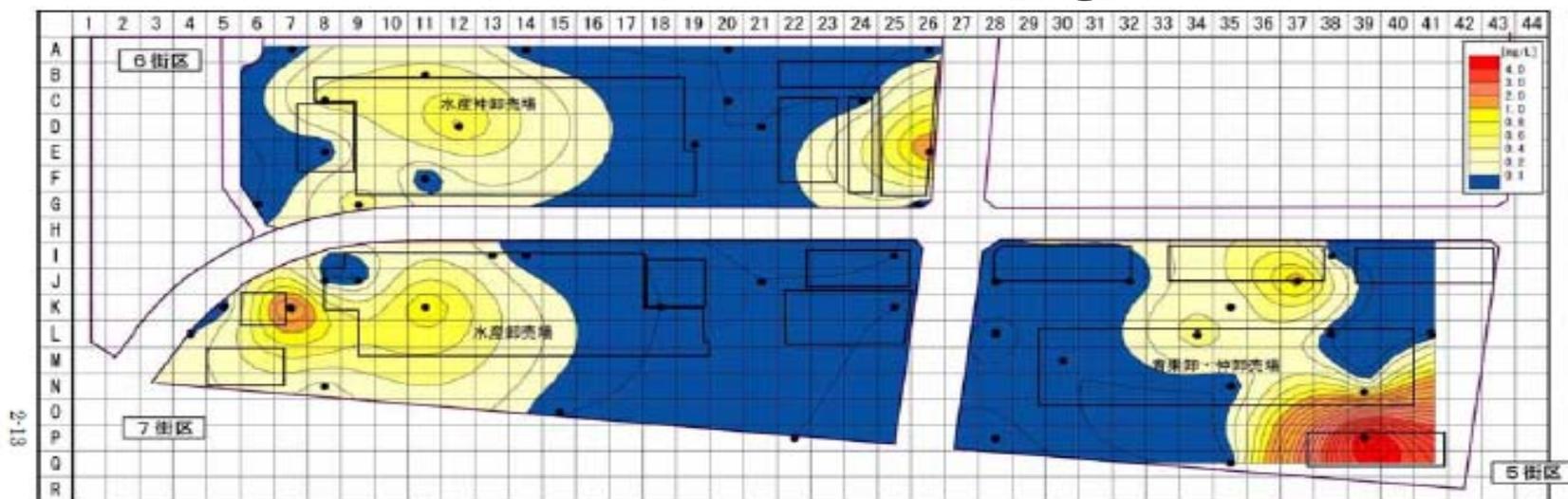
汚染物質移動シミュレーション「MODFLOW」

目的

汚染物質の拡散「どれくらいの濃度」、「いつから」
汚染時期・汚染濃度の推定

○ 地質汚染データ

– シアン化合物・・・環境基準は0.1[mg]以下（濃い青色）



解析条件

前提条件

- 解析地点
 - 第6街区
- 汚染終了年
 - 1988年
- 境界条件
 - 無限遠で濃度0

パラメータ

- 透水係数
 - $1.0 \times 10^{-5} [\text{cm/s}]$

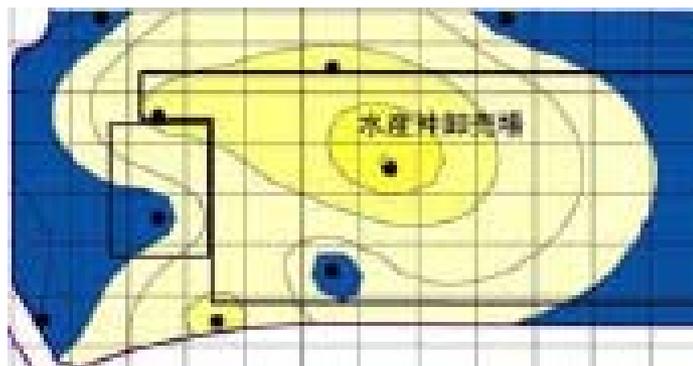


図.第6街区

採用条件

- 汚染終了年
 - 1988年
- パラメータ候補

漏出開始年

- 1966年
- 1969年

漏出濃度

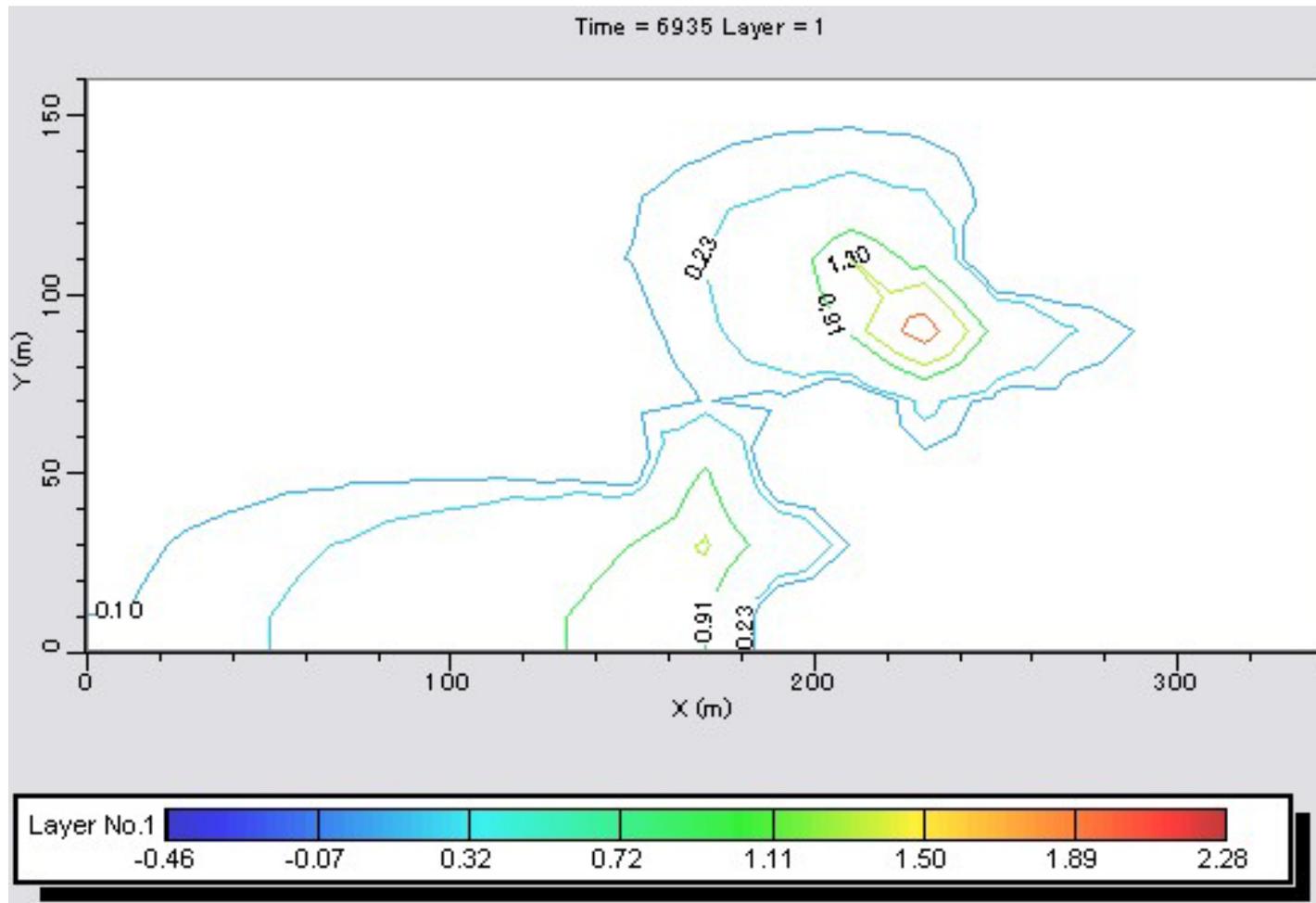
- 0.1 [ppm]
- 1 [ppm]
- 10 [ppm]

採用条件

- ✓ 漏出濃度 : 1.0 [ppm]
- ✓ 汚染物質漏出期間 : 1969年 ~ 1988年

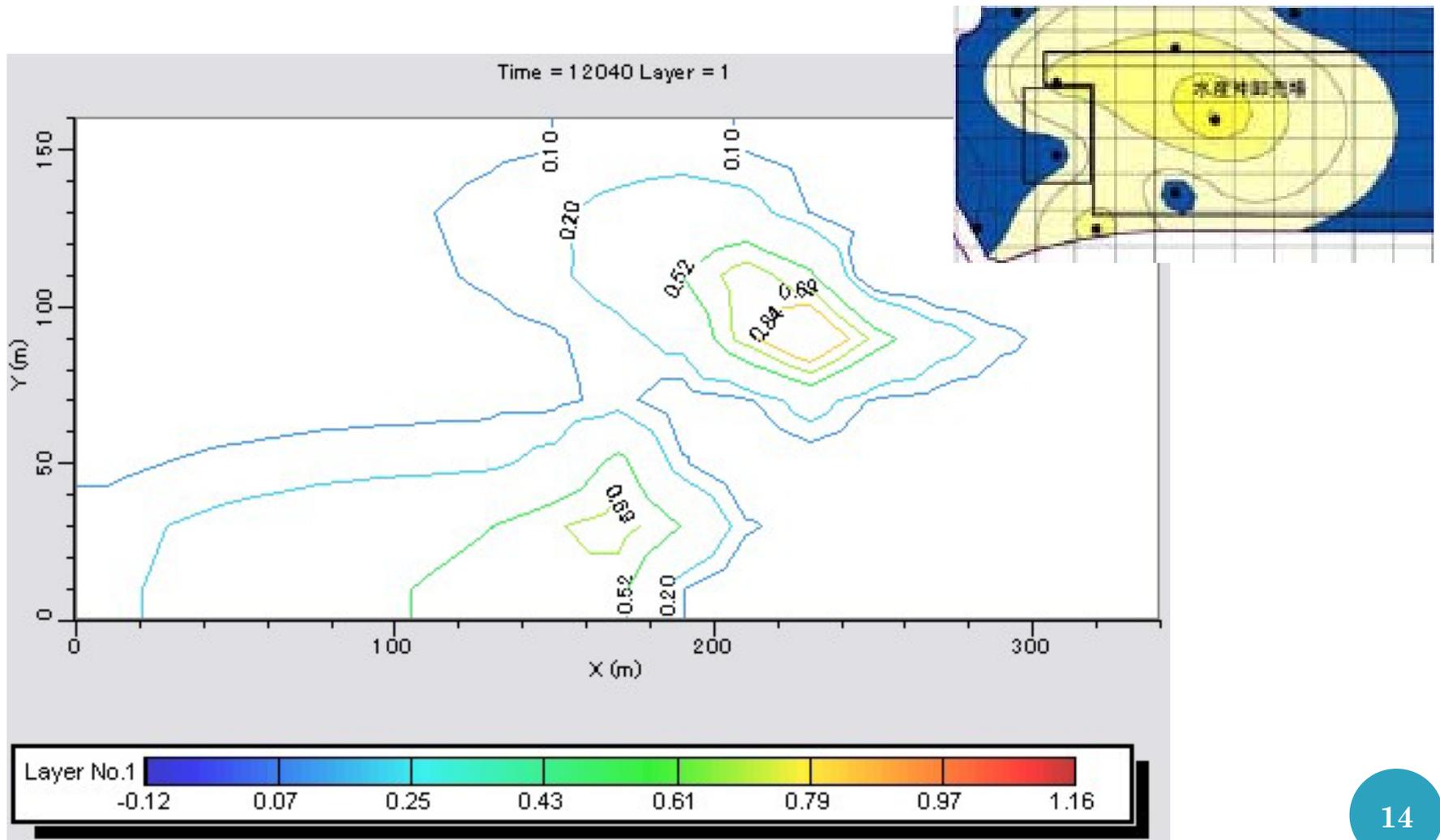
シミュレーション結果(図2)

1988年(漏出終了年)



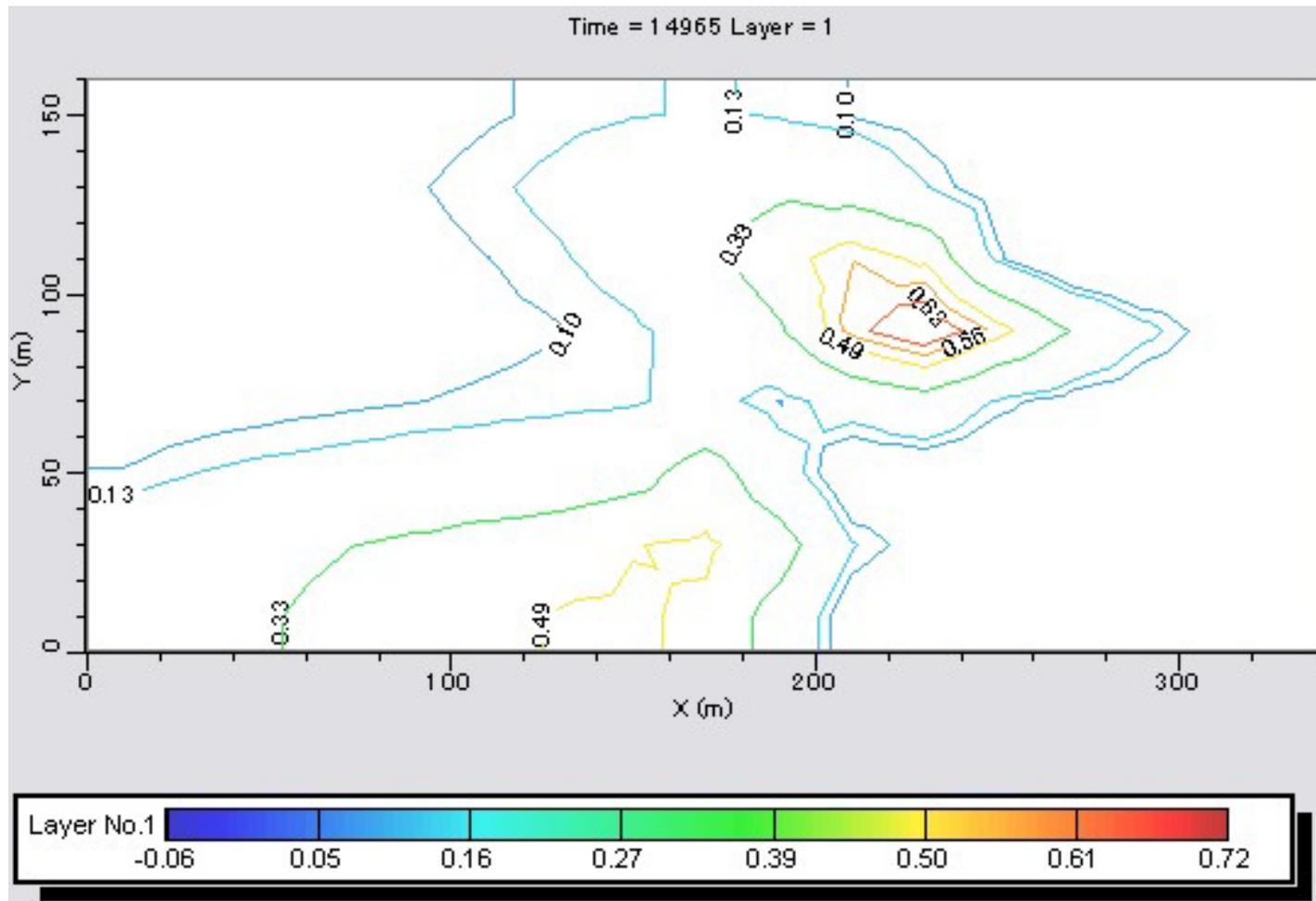
シミュレーション結果(図3)

2002年



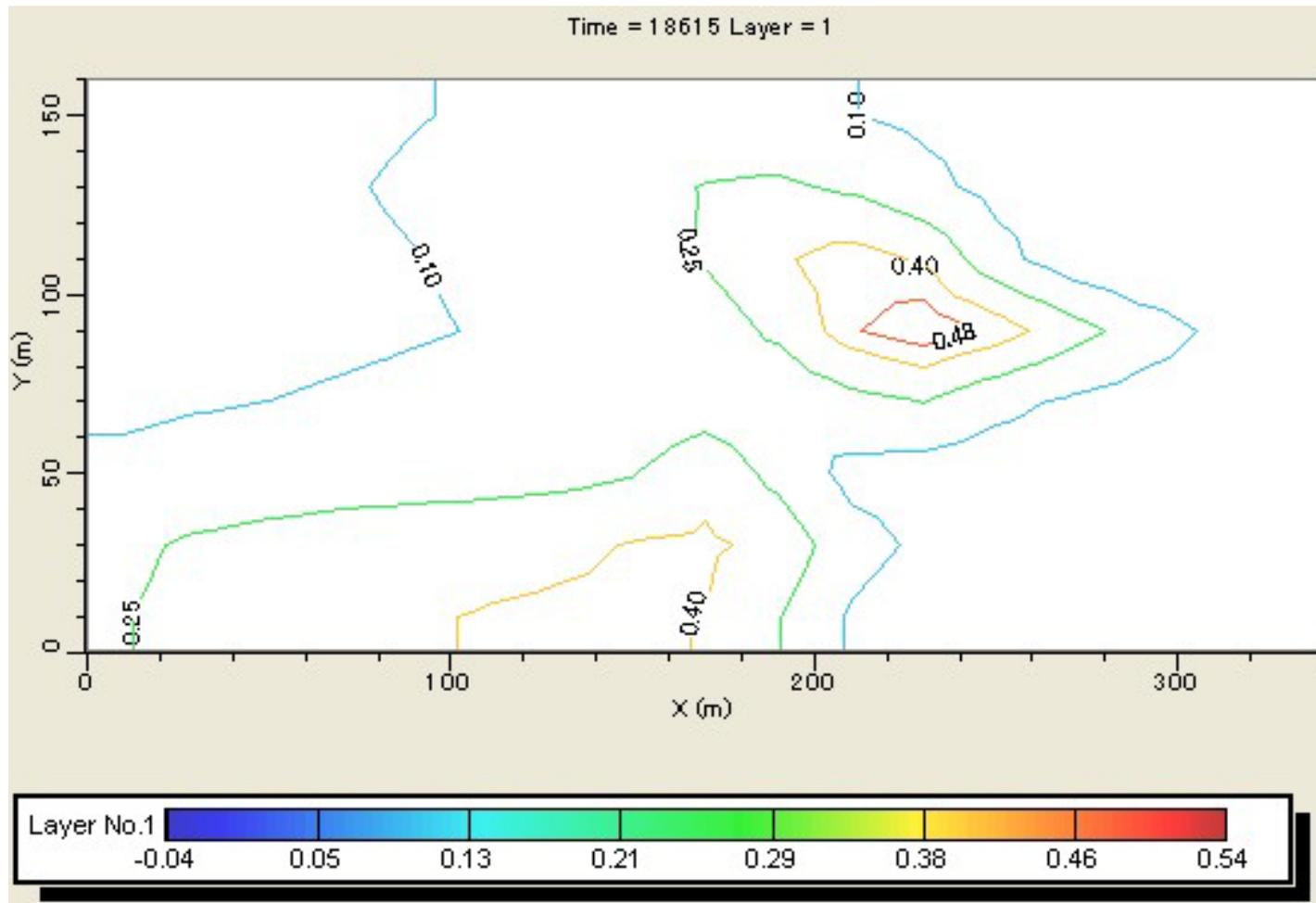
シミュレーション結果(図4)

2010年(現在)



シミュレーション結果(図5)

2020年(10年後)



不確実性解析

目的

地下環境の透水性などの条件

空間的ばらつき → **不確実性**

⇒ 評価結果にどの程度影響するか

解析ソフト

○@RISK

- ① 確率分布関数
- ② シミュレーション(値の組み合わせを選択)
- ③ 値をランダムに選択

確率分布関数

透水係数

① 対数正規分布に従うと仮定⁴⁾

(* 10^{-5} [cm/s]=3.15[m/year])

- 基準値(平均値): $\mu = \log(3.15) = 0.499$
- 標準偏差 : $\sigma =$



透水係数の**実測値**を用いて算出

分析条件(透水係数)

- 高橋ら(2005)⁵⁾の研究
 - …9つの砂サンプルの分散係数

$$\left. \begin{array}{l} D = \alpha_L \times u \\ u = K \times I \end{array} \right\} \therefore K = \frac{D}{\alpha_L I} \quad \dots(1)$$

D: 分散係数[m²/year] α_L : 縦分散長[m]
u: 流速[m/year] K: 透水係数[m/year] I: 動水勾配

➡ $\alpha_L=40$ 、 $I=0.5$ における**透水係数**を算出
9つのK (0.657~7.94[m/year])

透水係数算出方法

透水係数

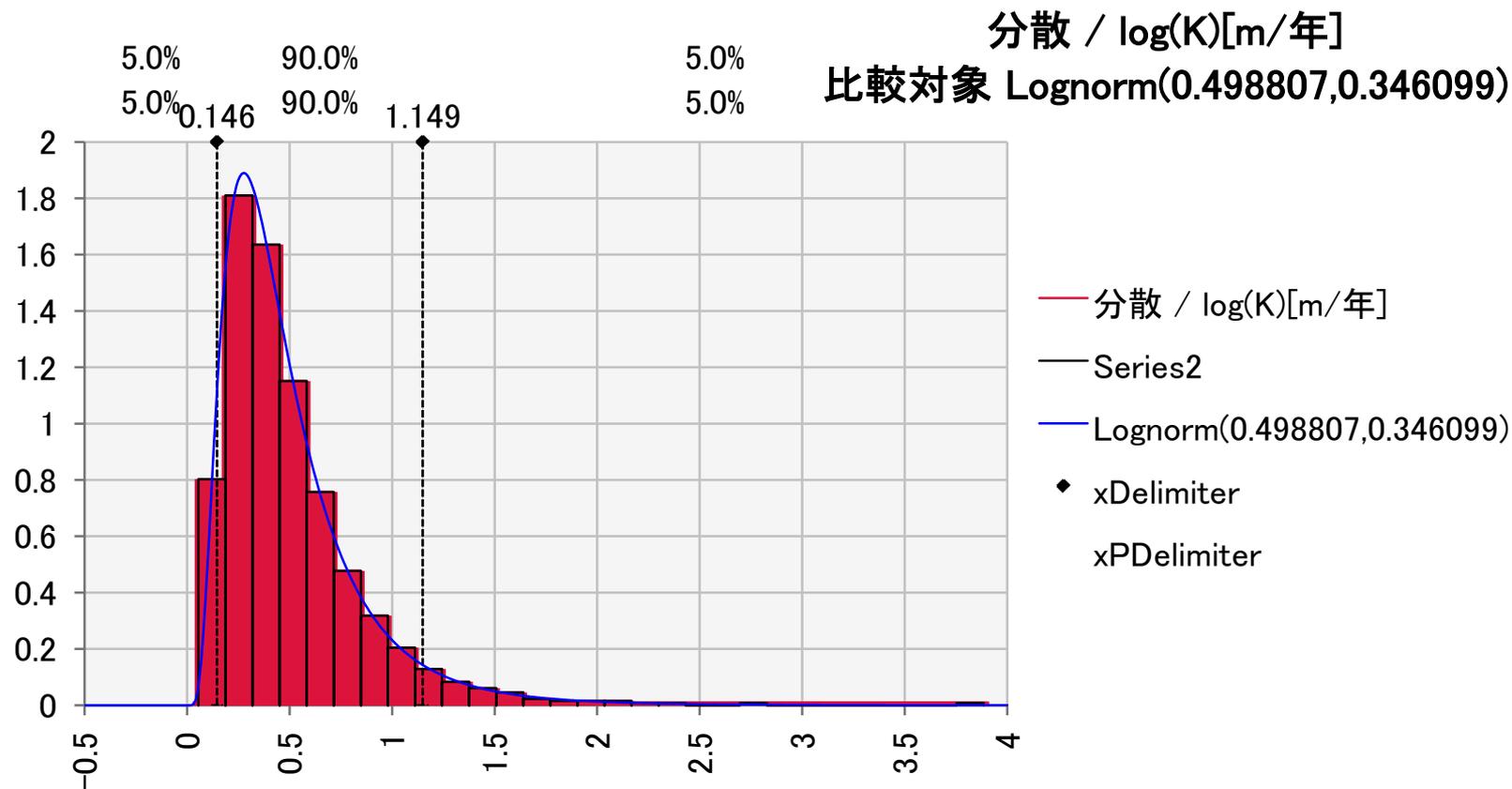
① 対数正規分布に従うと仮定⁴⁾

$$\left\{ \begin{array}{l} \checkmark \text{ 基準値(平均値)} \mu = 0.499 \\ \checkmark \text{ 標準偏差} \quad \sigma = 0.346 \end{array} \right.$$

② モンテカルロ法

サンプリング回数1000回
= 1回のシミュレーション

1回のシミュレーション結果(@RISK)



→ランダムに値を1つ選定

➡シミュレーション実施1000回

透水係数算出方法

透水係数

① 対数正規分布に従うと仮定⁴⁾

$$\left\{ \begin{array}{l} \checkmark \text{ 基準値(平均値)} \mu = 0.499 \\ \checkmark \text{ 標準偏差} \quad \sigma = 0.346 \end{array} \right.$$

② モンテカルロ法

サンプリング回数1000回

→シミュレーション実施1000回

③ 1000個の乱数 ($\log(K)$) を選出

➡ **1000個の透水係数を算出**

汚染濃度の推計

- MODFLOWにより推定

汚染開始1969年、汚染終了1988年(評価年)、漏出濃度1[ppm]

- OGATAら(1961)⁶⁾の導出式・・・式(2)

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{1 - \xi}{2\sqrt{\xi\eta}} \right) \quad \left[\xi = \frac{ut}{x}, \eta = \frac{D}{ux} \right] \quad \dots(2)$$

C : 評価年の汚染濃度[ppm]

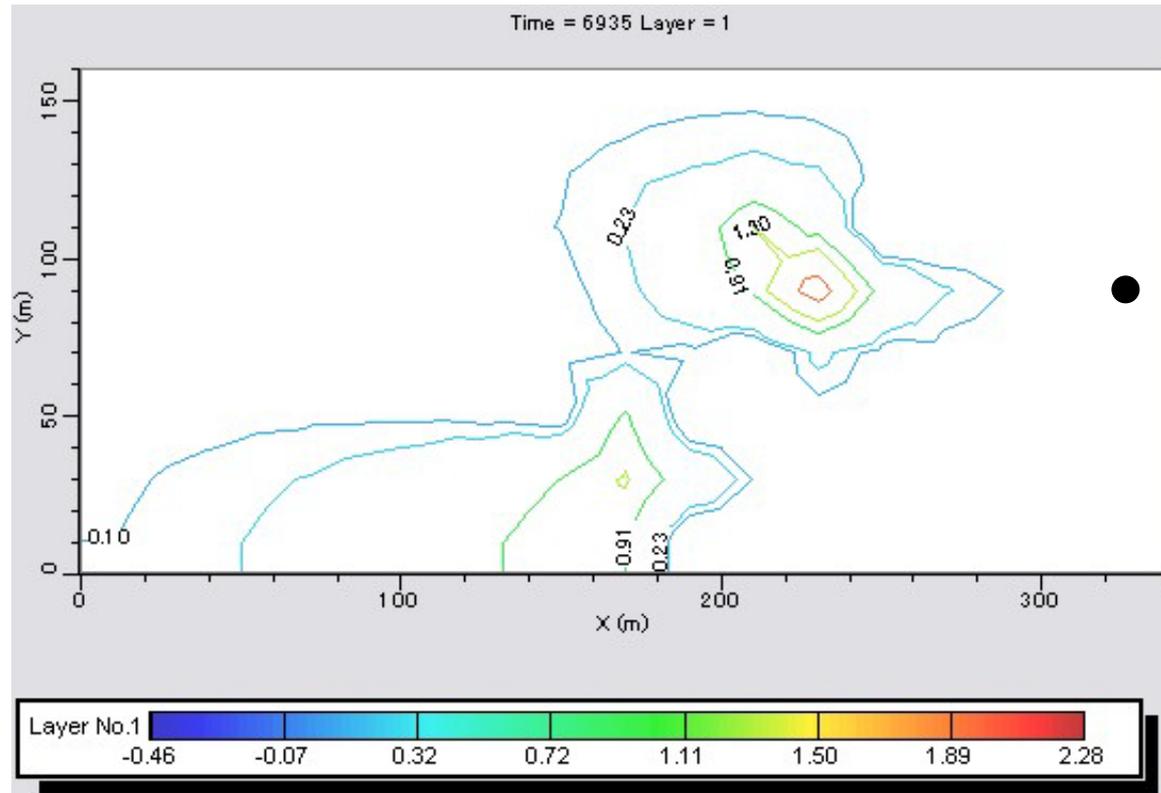
C₀ : 汚染源に流出し続けている濃度 1[ppm]

t : 汚染開始年から評価年までの年数 19[year]

x : 汚染源から評価地点までの距離[m]

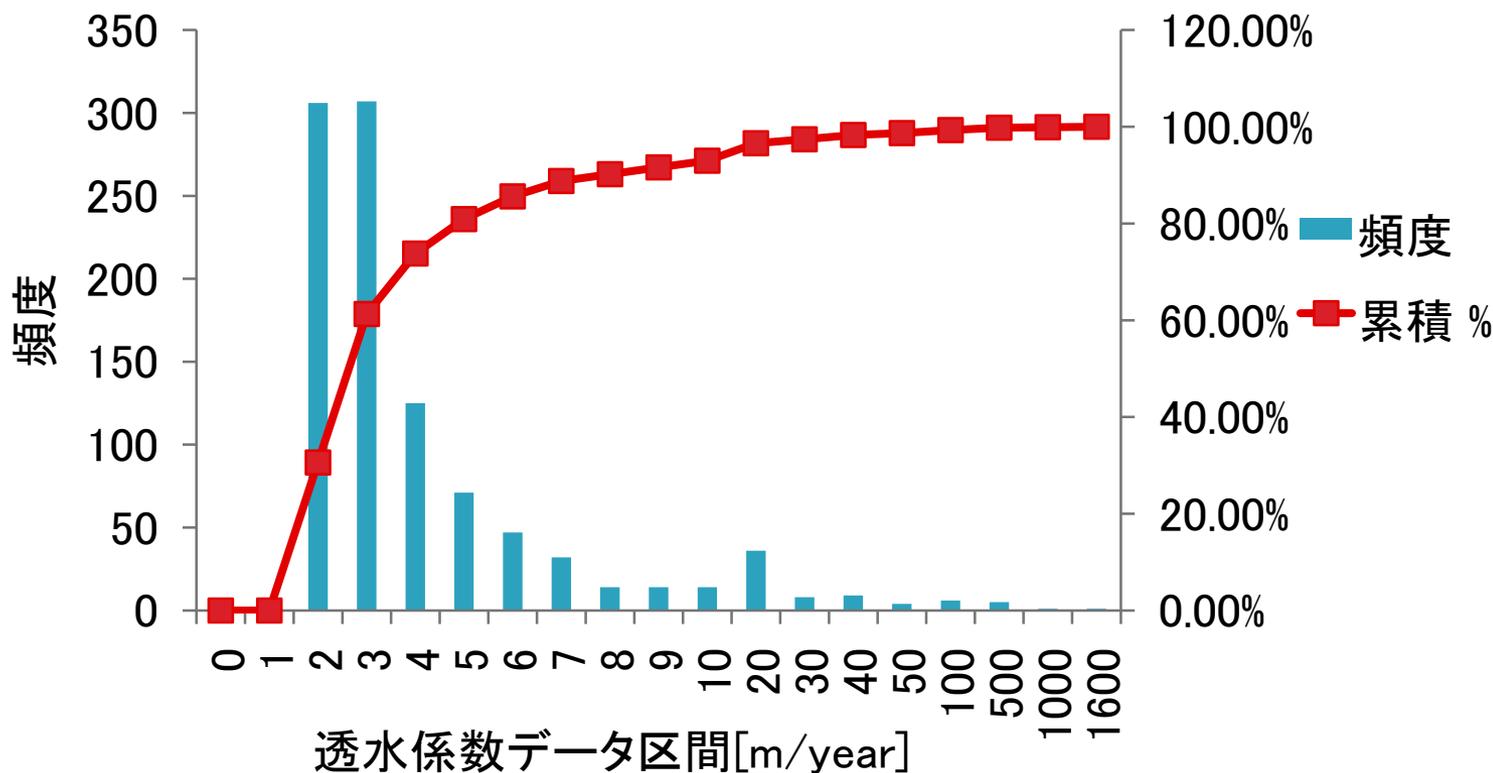
MODFLOWシミュレーション結果(図2)

1988年(漏出終了年) [再掲]



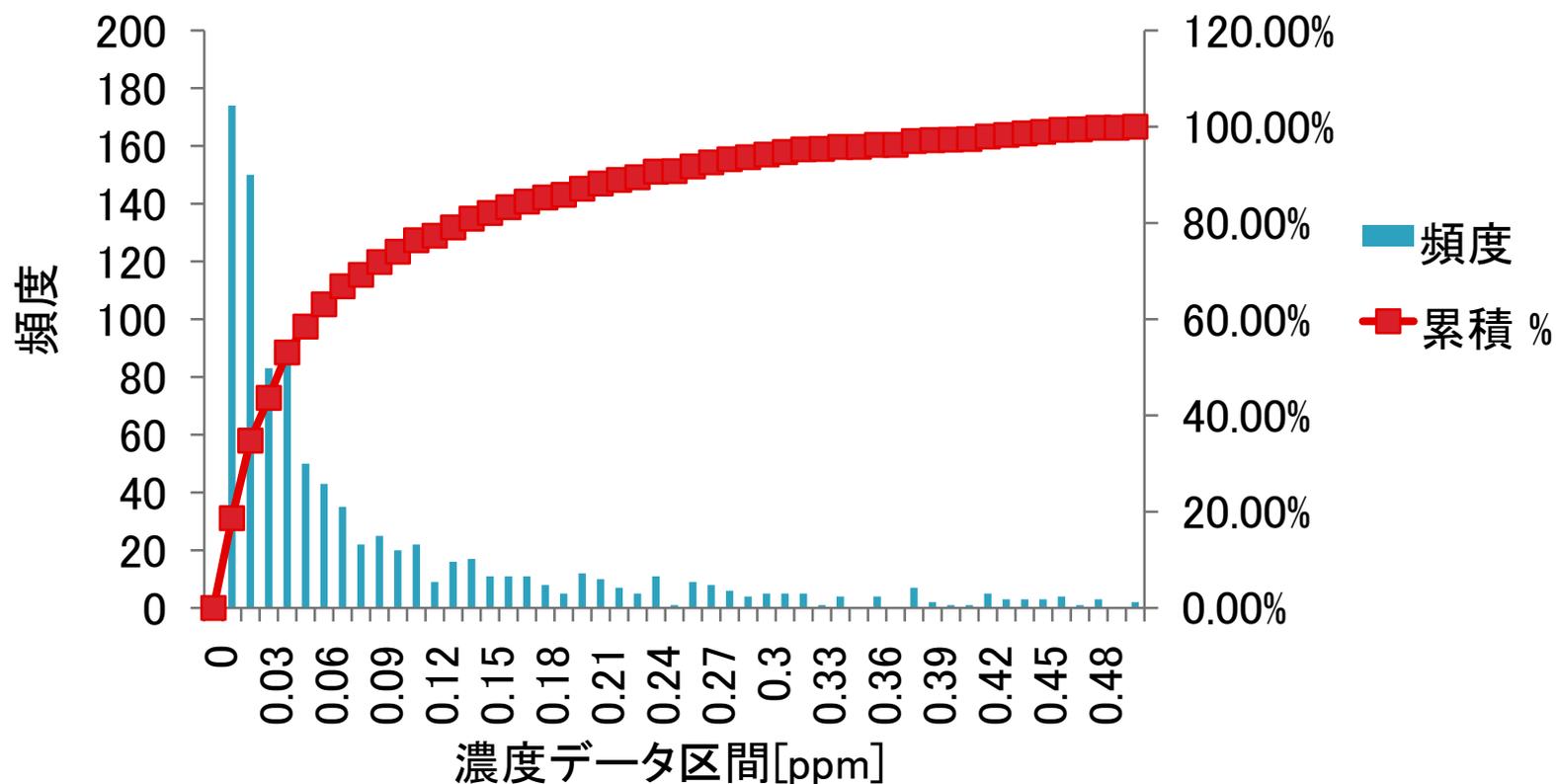
- : 評価地点 (x=100[m]の地点)

透水係数算出結果



- ✓ 最多 : 2[m/year]以上3[m/year]未満、30.7%
- ✓ 透水係数の範囲 : 1.12 ~ 1503.6[m/year]

汚染濃度推計結果



- ✓ 最多 : 0.01 [ppm] 以上 0.02 [ppm] 未満、18.7%
- ✓ 濃度の範囲 : 0.01 ~ 0.499 [ppm]

考察 (@RISK)

推計結果

- ✓ 透水係数: 1.12 ~ 1503.6 [m/year]
- ✓ 汚染濃度: 0.01 ~ 0.499 [ppm]

不確実性

透水係数 > 汚染濃度

しかし...

現実の社会問題として500倍の濃度値の開きは大きい

まとめ

解析結果

- 汚染物質移動シミュレーション「MODFLOW」
 - ☞ ✓ 汚染開始時期: 1969年
 - ✓ 汚染終了時期: 1988年
 - ✓ 汚染濃度 : 1.0[ppm]
- 不確実性解析「@RISK」
 - ☞ ✓ 透水係数が物質の移動に関して大きな影響を与える

結論

環境汚染のリスクアセスメントを行う際は
パラメータの不確実性が大きく結果を左右する

参考文献

- 1) 第五回豊洲新市場予定地における土壌汚染対策等に関する専門家会議, 東京ガス株式会社豊洲工場の土地利用について
<<http://www.shijou.metro.tokyo.jp/senmonkakaigi1/kaigi05.html>>
- 2) 豊洲土壌における汚染状況
<http://www.shijou.metro.tokyo.jp/senmonkakaigi1/08/houkokushoan_02-2.pdf#search>
- 3) ベンゼン・シアン化合物の被害状況
<<http://www.shijou.metro.tokyo.jp/senmonkakaigi1/09/kaitou/hosoku.pdf>>
- 4) 齊藤 雅彦(2007): 地下水汚染問題における濃度分布の確率的評価手法に関する基礎的研究, 水工学論文集, 第51巻, pp.499-504
- 5) 高橋直樹, 中田雅夫, 山本陽一(2005): 土の分散特性および吸着特性の評価に関する基礎的研究, 三井住友建設技術研究所報告, 第3号, ROMBUNNO.6
- 6) Akio Ogata, R. B. Banks(1961): A solution of the differential equation of longitudinal dispersion in porous media, Fluid movement in earth materials, Geological Survey professional paper 411-A

