

1.3.2. 客観的リスクを用いた リスク評価事例

(有)太田ジオリサーチ 林 義隆

リスクワーキンググループ

大津宏康 伊藤正純 井上幸紀 江種伸之 小野暁
柄谷有香 笹本譲 佐藤光弘 進士喜英 直井彰秀
中島俊幸 鳩裕幸 真鍋毅

目的

- 客観リスクという概念の勉強
(シナリオ・客観リスク)
- 金融工学理論の勉強
(確率 期待値 標準偏差 リスクカーブ)
- 新しい側面からみた土壌汚染(土木)事業の評価
(民間 経営 事業 リスク分析)

研究の内容

- 海外で発生した汚染サイトの事例を元に
調査精度の違いに起因するリスクを評価
- 委員会で想定した汚染サイトを元に
修復方法の違いに起因するリスクを評価

汚染地盤の調査精度によるコスト変動の評価法

- 汚染地盤調査と土木建設調査 (e.x. 矢板護岸の総延長予測)

リスク = 期待値からの離れ量

としては**同じ**である。

地盤の汚染状態調査

最初に汚染総量の最大値(最悪シナリオ)を予測しにくい

当初は調査する毎にどんどん汚染範囲や濃度が広がって行く。

調査がネガティブなイメージ 逆に探鉱であれば、ポジティブなイメージになるのでは？

沖積層に挿入する矢板の深度の予測:

洪積層上面の深度最大限界深度X(最悪シナリオ)が予測できる

最大期待値 = $(X + \text{根入れ長}) \times \text{延長}$ から, 工事総量が減っていく。

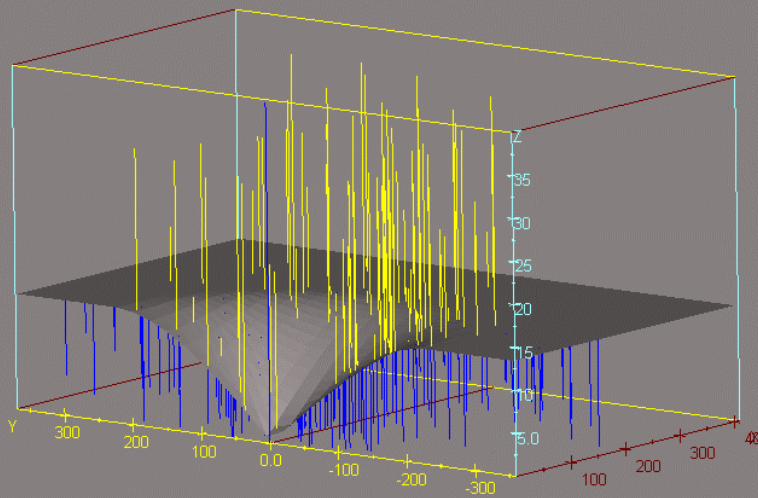
調査がポジティブなイメージ

3次元クリギングによる汚染地盤範囲の評価

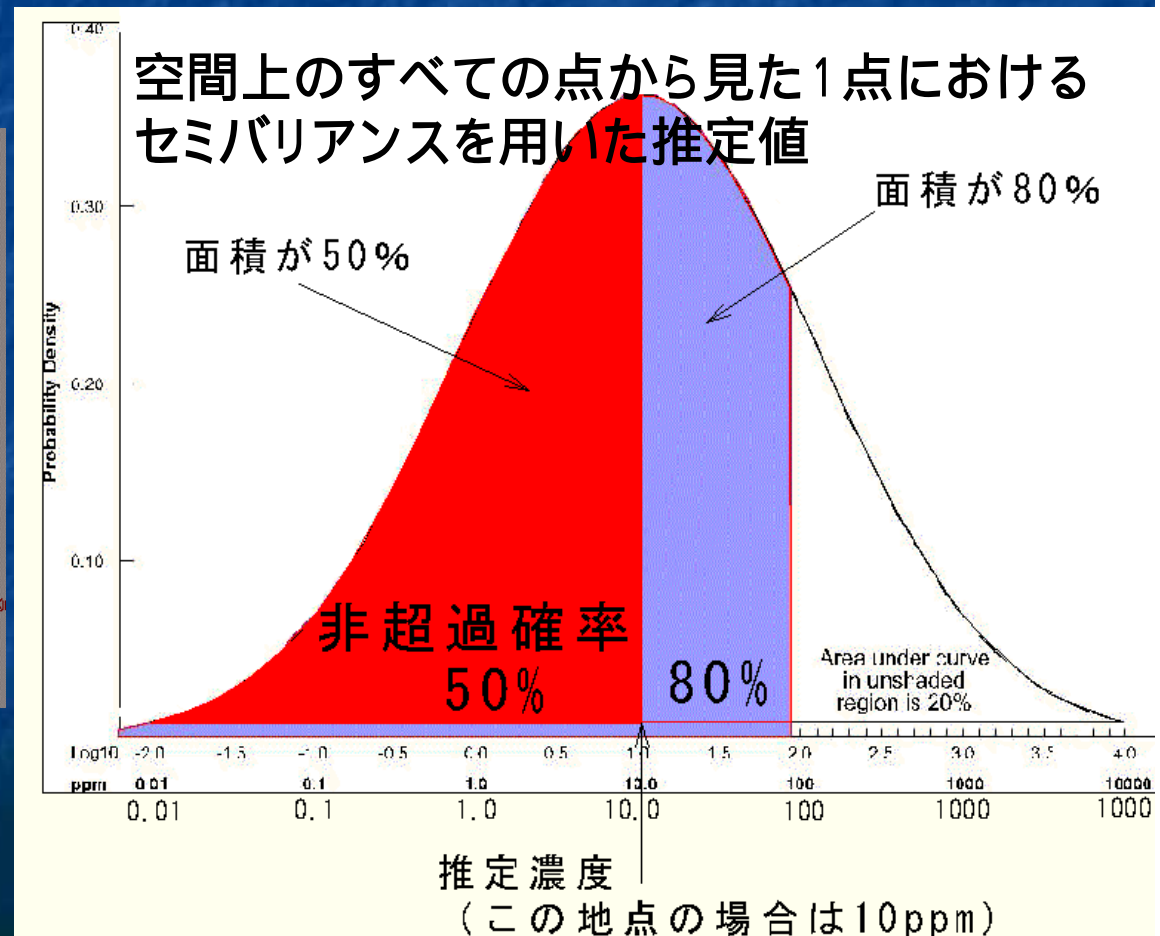
■ セミバリエンス (Semi variance)

$$SVar(i,j) = ([z_i - z_j]^2) / 2$$

3次元空間の2地点間の濃度についてすべて計算

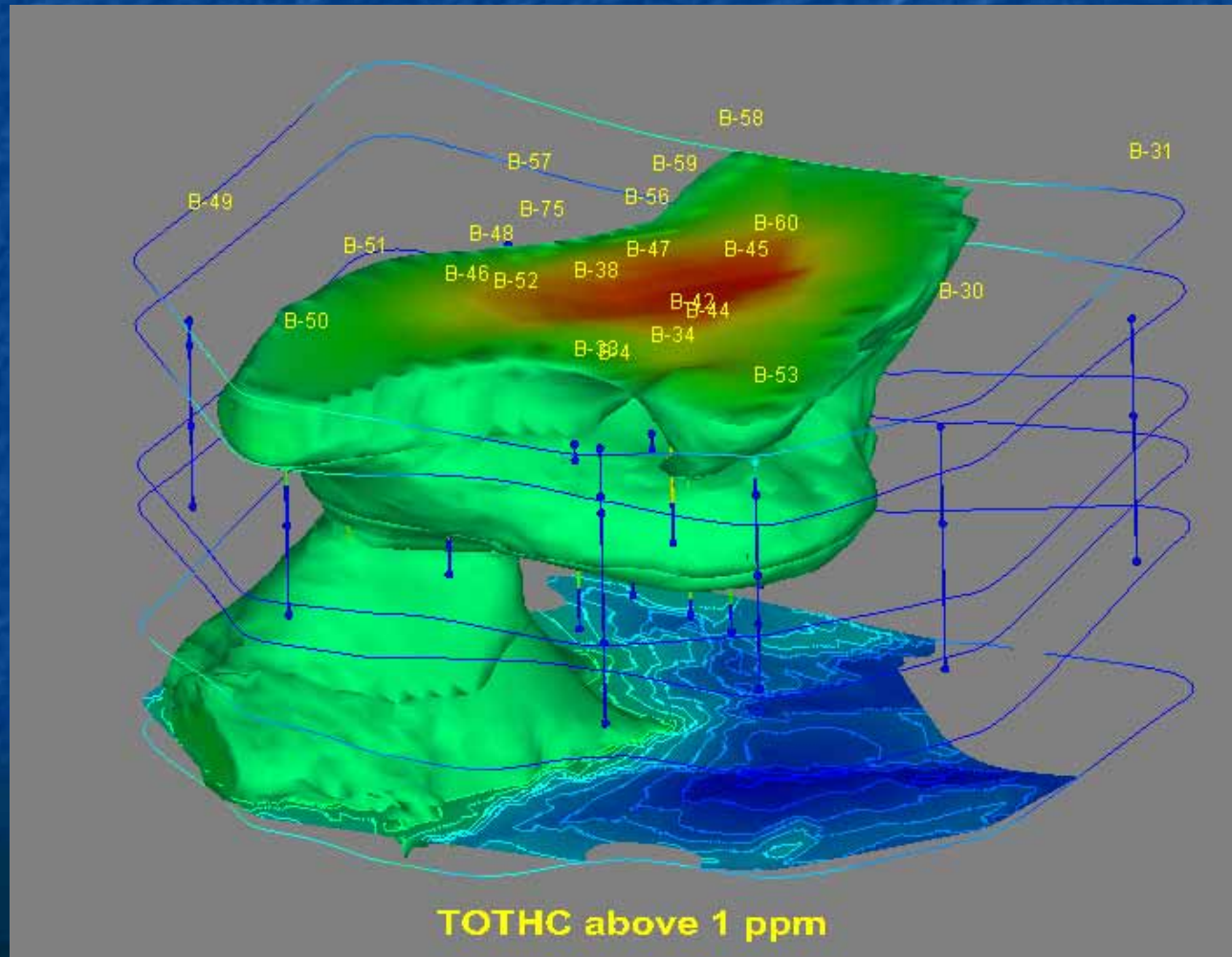


空間上の2地点間における
セミバリエンス



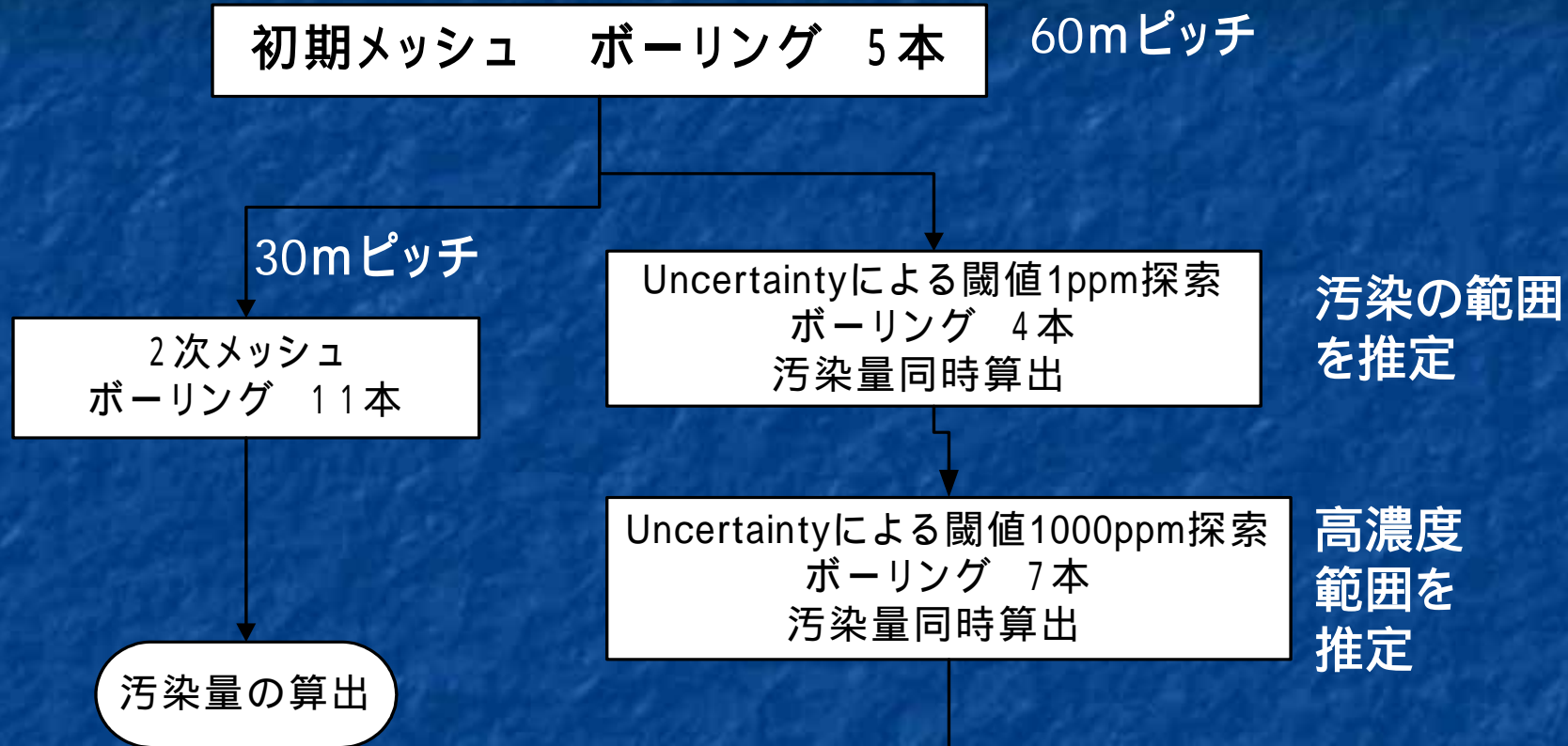
汚染地盤の状況

- 汚染地は、鉄道ヤード(600×400feet)であり、最高80,000ppmの汚染物質(複合したヒドロカーボン)が検出されている。汚染の調査は、24本のボーリングによって明らかになっており、これをもとにクリギング(Kriging)手法を用いて3次元化したものが下図である



敷地180m × 120m

比較内容

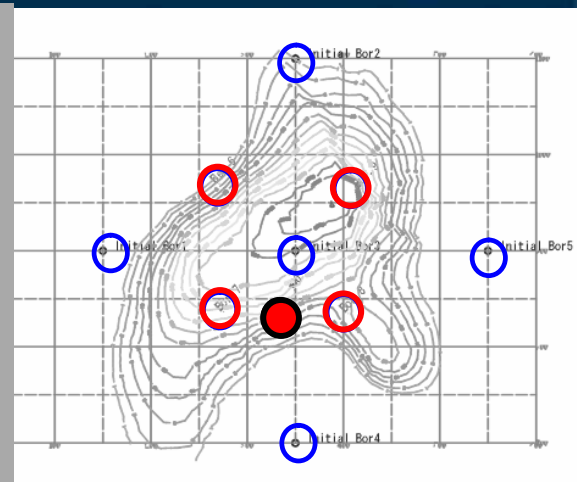
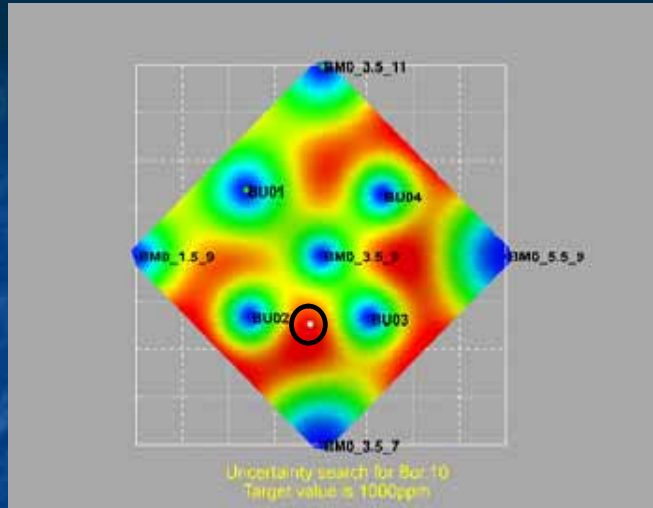
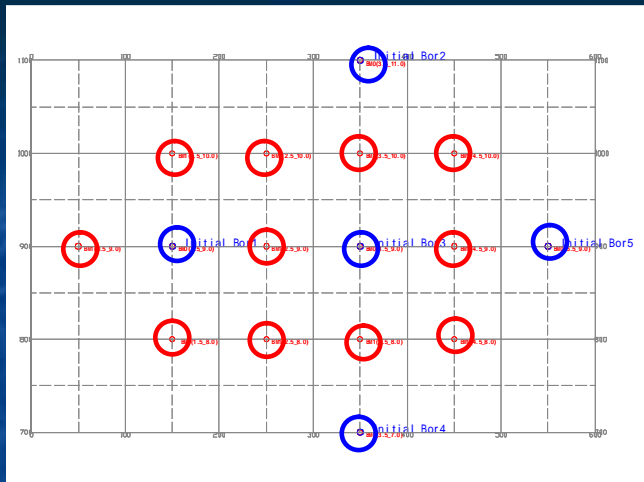


汚染の範囲を推定

高濃度範囲を推定

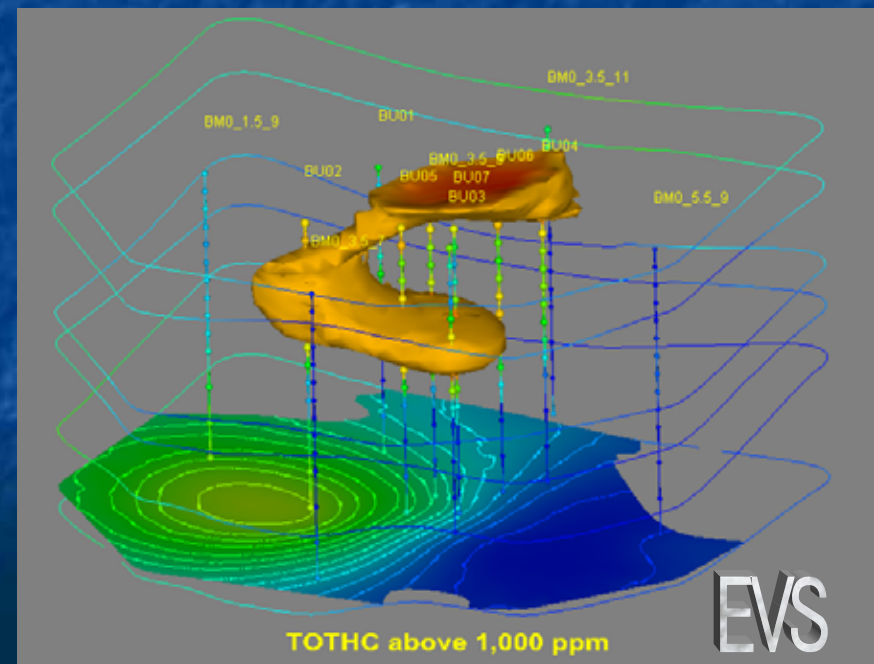
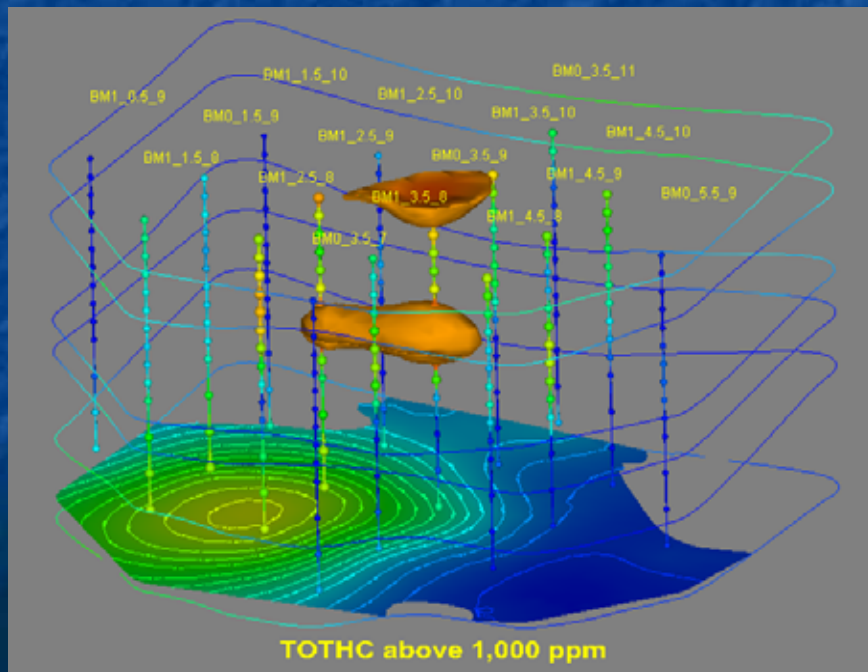
比較検討

不確実性 (uncertainty) : クリギング手法によって推定された汚染地盤の濃度が高くかつ、既存調査点から離れているほど、データの信頼度が低いということを数値化したもの。数値が高いと不確実性が高い(信頼性が低い)

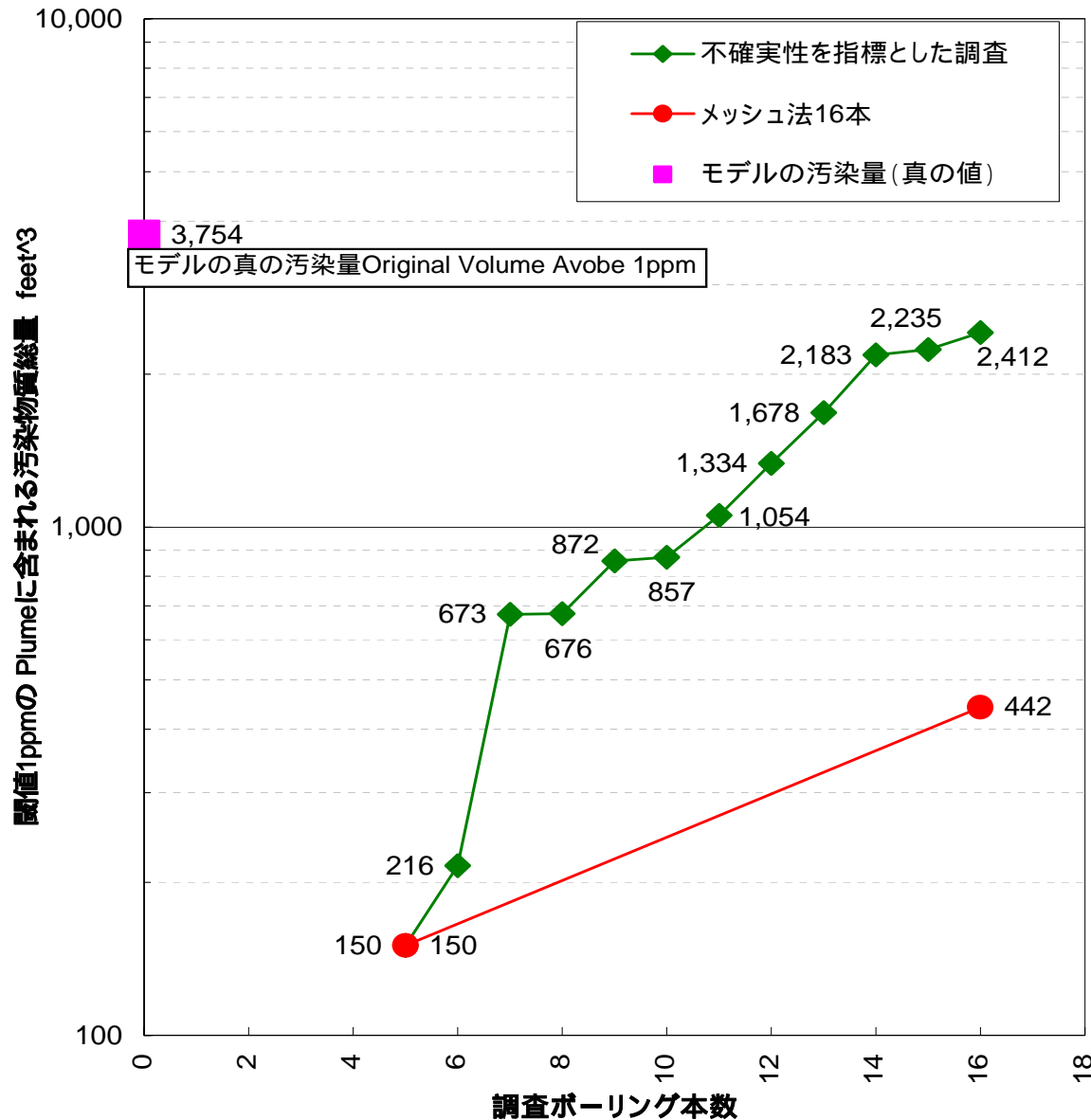


メッシュ法

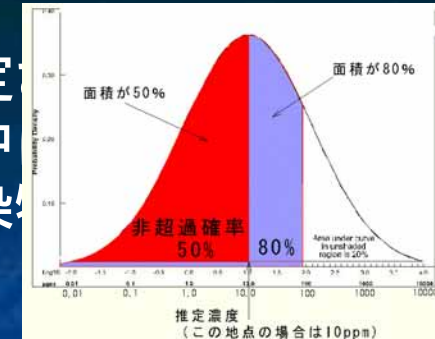
不確実性による探査手法



汚染濃度 1 ppm 以上のプルームに含まれるハイドロカーボンの推定量
(3次元クリギングの結果)



推定
の中
汚染



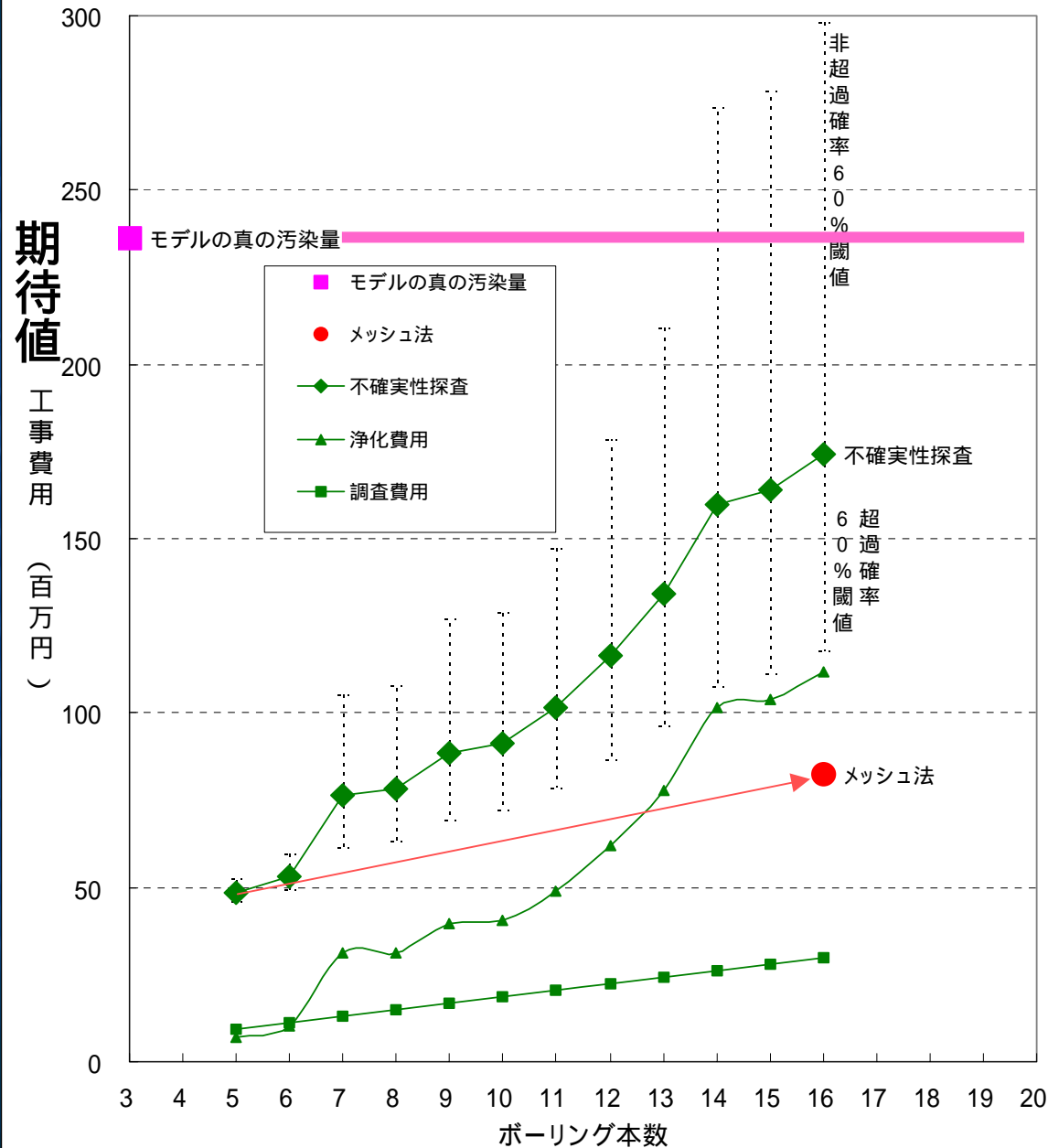
不確実性による探査:
実際の64%
非超過確率60%ならば
ほぼ100%

メッシュ法: 実際の12%

高濃度の汚染物質が
Logスケールで濃度変化
する場合、範囲を押さえる
だけでは汚染総量の把握が
困難 探鉱と同じで偶然では..

地質技術者が調査の結果を
総合して探査箇所を選定する
ことが肝要

調査数量と工事費の関係



費用は
浄化費用
調査費用
スティグマによる
損失等の費用
を含む

調査が進めば
期待値の信頼性は
増大する。
リスクは減らせる

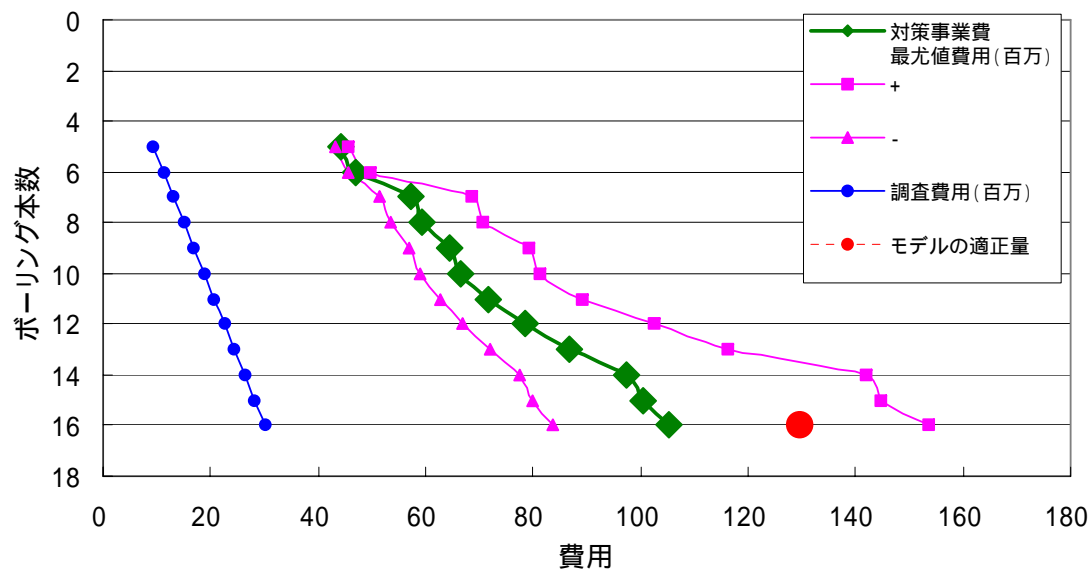
リスク:期待値とモデルの
真の対策費用との差

このほかに
汚染範囲を計算する
手法に起因するリスク変動
(曖昧さ)もある。

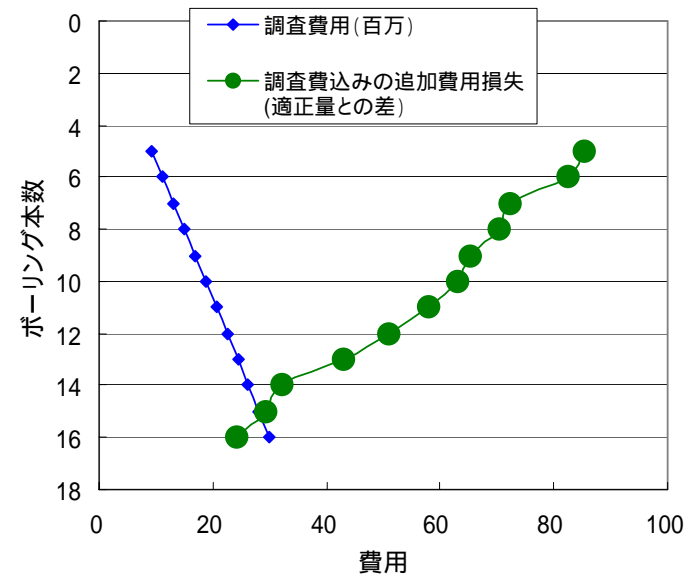
モデルの適正量		適正対策費用							130	100%					
ボーリング本数	3次元クリギングによる推定量(m3)	+	-	浄化費用(百万)	+	-	調査費用(百万)	諸経費(百万)	対策事業費最尤値費用(百万)	+	-	調査精度(モデル適正量との比)	+	-	調査費込みの追加費用損失(適正量との差)
5	150.33	237.72	97.58	2.7	4.3	1.8	9.38	32	44.1	45.7	43.1	4%	6%	3%	85
6	215.63	353.16	133.7	3.9	6.4	2.4	11.25	32	47.1	49.6	45.7	6%	9%	4%	82
7	673.19	1297.6	355.8	12.1	23.4	6.4	13.13	32	57.2	68.5	51.5	18%	35%	9%	72
8	675.56	1311.8	354.7	12.2	23.6	6.4	15.00	32	59.2	70.6	53.4	18%	35%	9%	70
9	857.00	1684.8	444.2	15.4	30.3	8.0	16.88	32	64.3	79.2	56.9	23%	45%	12%	65
10	872.45	1689.3	460.2	15.7	30.4	8.3	18.75	32	66.5	81.2	59.0	23%	45%	12%	63
11	1054.10	2037.9	557.2	19.0	36.7	10.0	20.63	32	71.6	89.3	62.7	28%	54%	15%	58
12	1334.30	2668.3	693	24.0	48.0	12.5	22.50	32	78.5	102.5	67.0	36%	71%	18%	51
13	1678.40	3316.9	867.2	30.2	59.7	15.6	24.38	32	86.6	116.1	72.0	45%	88%	23%	43
14	2182.60	4642.1	1066	39.3	83.6	19.2	26.25	32	97.5	141.8	77.4	58%	124%	28%	32
15	2234.80	4706.6	1105	40.2	84.7	19.9	28.13	32	100.4	144.8	80.0	60%	125%	29%	29
16	2411.50	5083.9	1202	43.4	91.5	21.6	30.00	32	105.4	153.5	83.6	64%	135%	32%	24

クリギングによる推定値はsemivariogram による非超過確率50%のプルーム + 非超過確率60% - 非超過確率40% の汚染プルーム

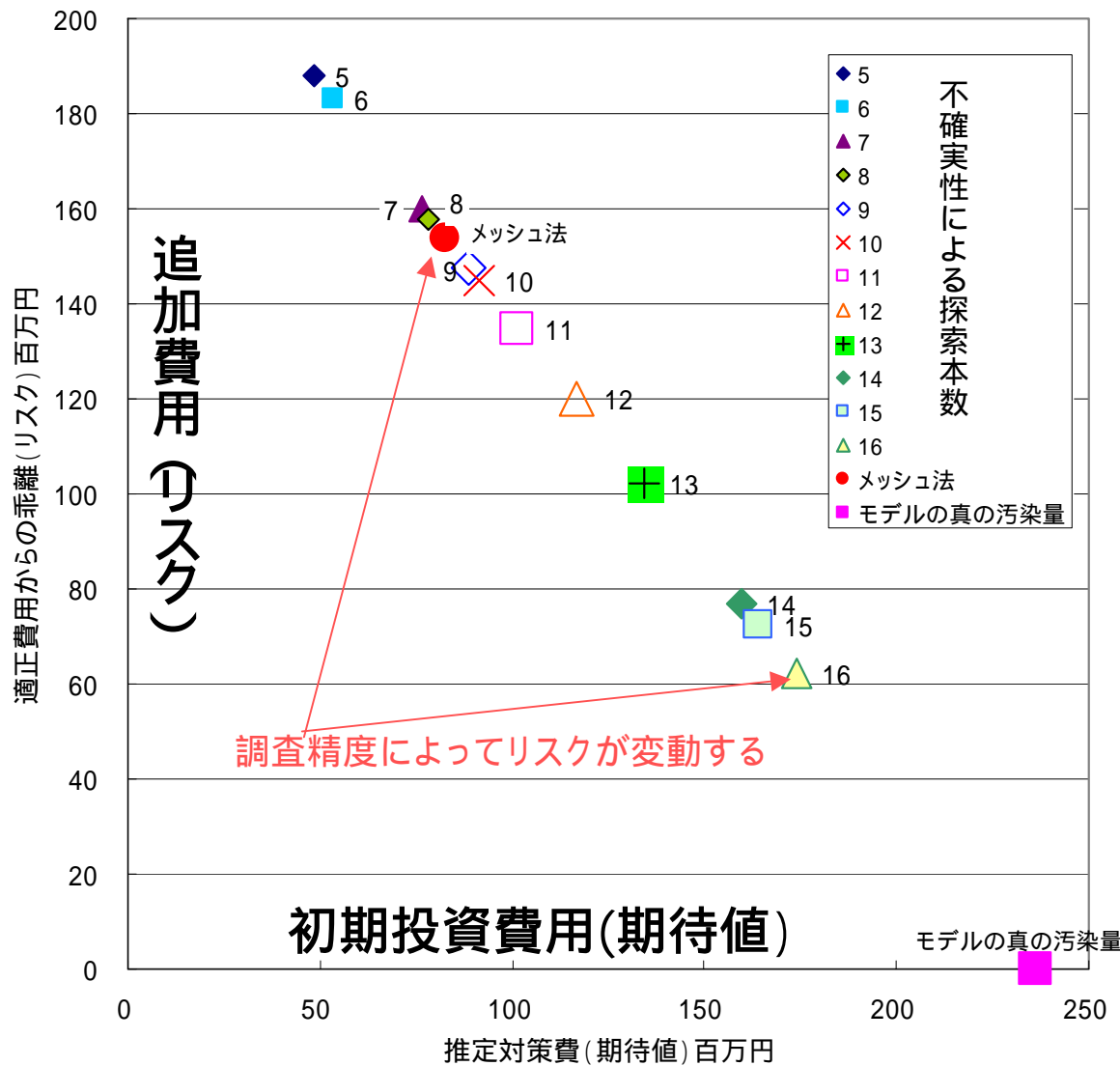
ボーリング本数と対策費用のリスクカーブ



ボーリング本数と追加費用損失の関係



工事費における初期投資費用と追加費用との関係



・調査本数が少ない
工事費用を過小評価

・調査本数の増加
工事費は大きくなるが、
追加費用は少なくなり
プロジェクトとしてのリスク
は少なくなる。

リアルオプション：
完全浄化は事業ベース
にのらないと判断し、
他の手段に切り替える

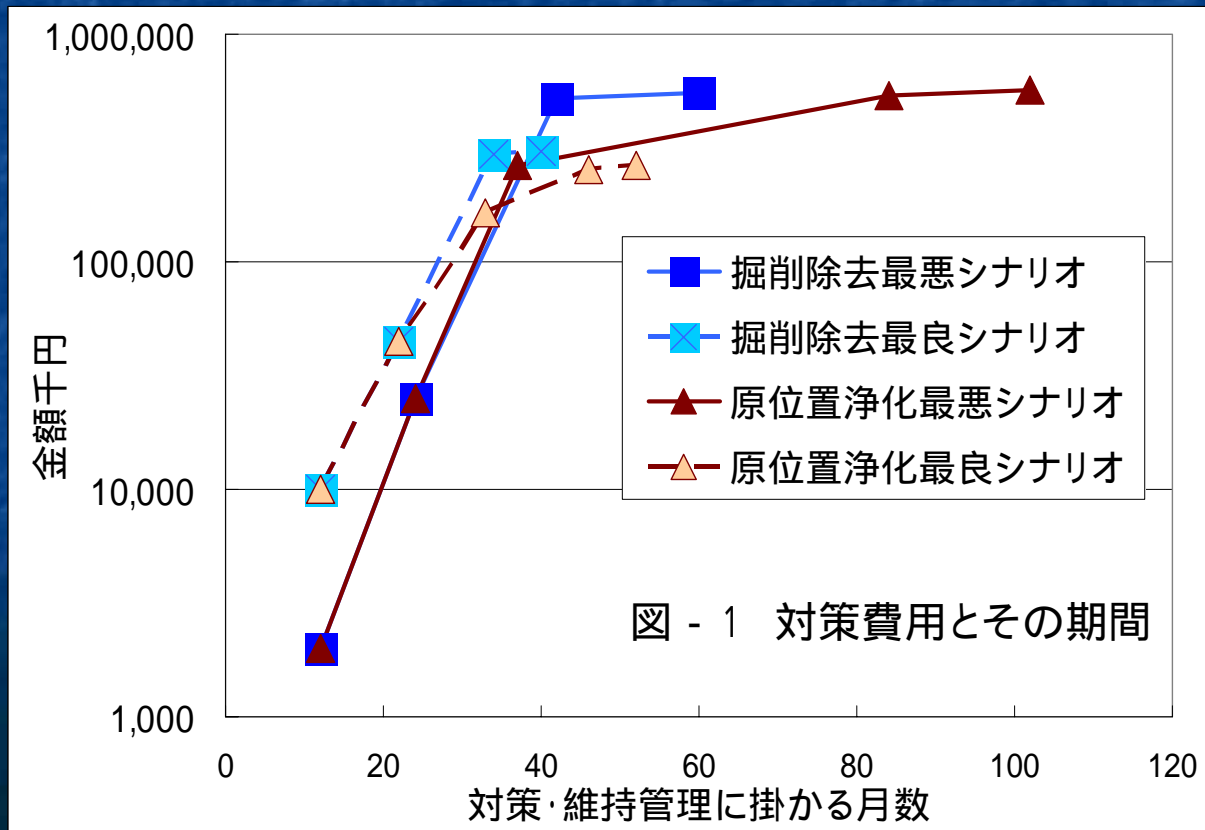
修復方法の違いに起因するリスクを 評価

- 2999m²の町工場跡、汚染は地下5mくらいまで、と仮定
- 掘削除去と原位置浄化について
金融工学でいう客観リスクについて試算
どの方法をとったほうがこの現場では有利であろうか。
- 試算では
 - 種々のトラブルが生じて費用と期間がかかる
 - 最悪パターン(最悪シナリオ)
 - 最もスムーズに対策が進んだ場合(最良シナリオ)について費用と期間を算出

掘削除去	最悪シナリオ							最良シナリオ						
	単価千円	単位	数量	費用千円	累計	期間	累計	単価千円	単位	数量	費用千円	累計	期間	累計
作業内容														
土壌汚染対策の社内学習	2,000	式	1	2,000	2,000	12	12	10,000	式	1	10,000	10,000	12	12
調査費用	8,000	1000m ²	2.9	23,200	25,200	12	24	12,000	1000m ²	2.9	34,800	44,800	10	22
掘削除去	50	m ³	10000	500,000	525,200	18	42	50	m ³	5000	250,000	294,800	12	34
スティグマによる損失評価	10,000	回	3	30,000	555,200	18	60	10,000	回	1	10,000	304,800	6	40

原位置浄化	最悪シナリオ							最良シナリオ						
	単価千円	単位	数量	費用千円	累計	期間	累計	単価千円	単位	数量	費用千円	累計	期間	累計
作業内容														
土壌汚染対策の社内学習	2,000	式	1	2,000	2,000	12	12	10,000	式	1	10,000	10,000	12	12
調査費用	8,000	1000m ²	2.9	23,200	25,200	12	24	12,000	1000m ²	2.9	34,800	44,800	10	22
部分置換え(重金属)	40	m ³	5998	239,920	265,120	13	37	40	m ³	2999	119,960	164,760	11	33
完全浄化(VOC)	18	m ³	14995	269,910	535,030	60	84	12	m ³	7500	90,000	254,760	24	46
スティグマによる損失評価	10,000	回	3	30,000	565,030	18	102	10,000	回	1	10,000	264,760	6	52

最悪シナリオ:社内学習 調査費用には金をかけないで、実際には掘削量や浄化量が多くなってしまい、工期もかかるパターン



工法の違い
シナリオの違いで
最終費用と
工期が異なる。

どうすればいいか？

修復方法の違いに起因するコスト変動とリスクの評価(期待値とリスクの算出)

P1,P2; 最悪および最良シナリオの発生する確率

R1,R2;最悪および最良シナリオでの費用

・浄化費用の期待値 $\mu = P1 \times R1 + P2 \times R2$

・各工法を取った場合のリスク(標準偏差) $= \sqrt{[(P1 \times R1 \times R1)+(P2 \times R2 \times R2)-\{(P1 \times R1)+(P2 \times R2)\}^2]}$

掘削除去 P2=0.7

原位置浄化 P2=0.5



掘削除去 P2=0.7

原位置浄化 P2=0.8

図 - 2 浄化費用期待値 μ とリスク の関係 単位千円

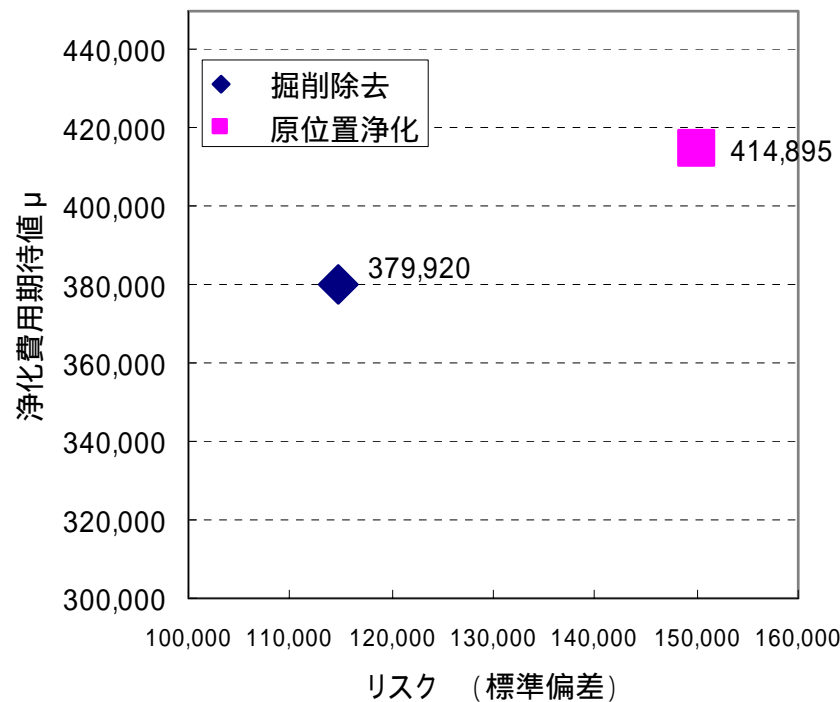
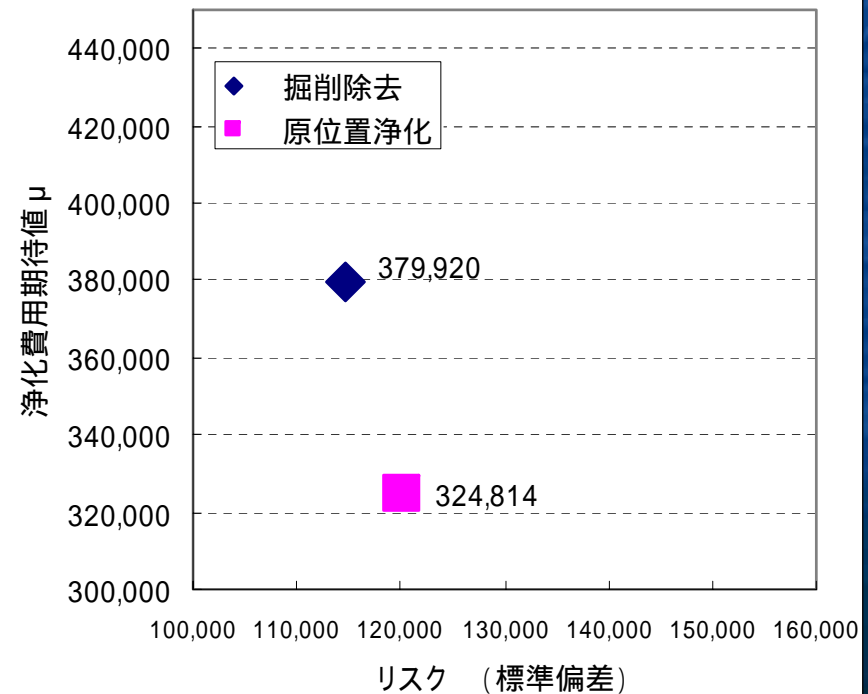


図 - 3 浄化費用期待値 μ とリスク の関係 単位千円

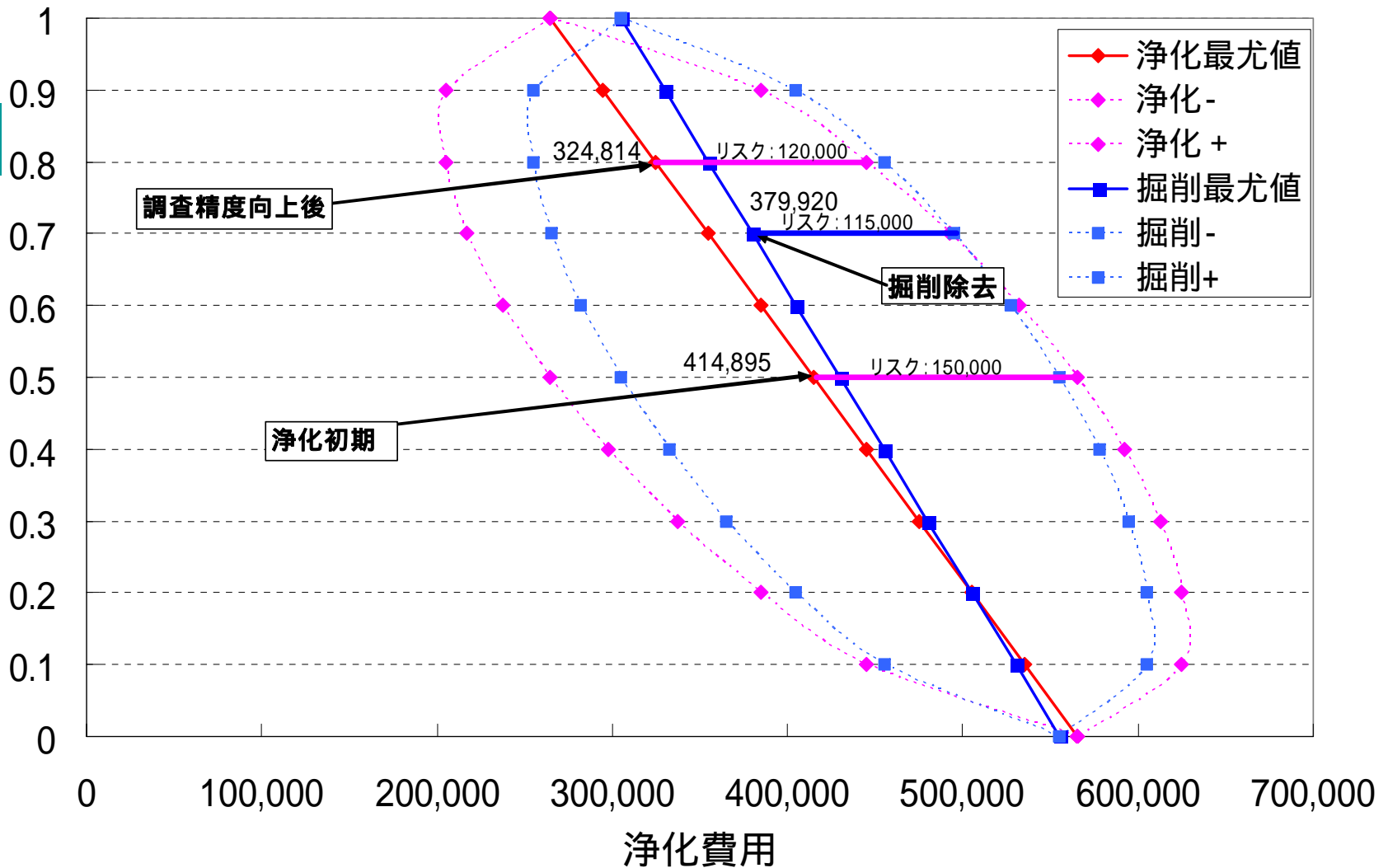


最良シナリオ生起確率をパラメータとした浄化費用とリスクの関係

P2

最良シナリオ生起確率

汚染対策のリスクカーブ



結論

- 客観的リスクとは、最終事業費と期待値(当初事業予算)との乖離を金額で評価すること。

- 効率的な調査がリスク(当初事業予算との乖離)を少なくする。

汚染浄化対策は地盤調査における不確実性の影響が大きい
リスクには、モデル化手法に起因するリスク(曖昧さ)と調査手法によるリスクがある。

- 今後は実際の事例について評価し、研究する。

2番目の事例で示したように、汚染状況によってはリスクの大きい工法をとらざるを得ない場合がある。
このような場合そのリスクを低減するためにはどんなファクターが重要であるか、
その判断の一手法として、「リスクの概念を用いることの有用性 = 問題点の客観化」があると思われる。
(リスク計算で自動的に最適解がでるわけではない。)