

# 地盤環境の変遷が土構造および地盤・環境特性に及ぼす影響 に関する一考察

(公社)地盤工学会・地球温暖化が地盤環境に及ぼす影響と対策に関する研究委員会  
委員(主査) 日野剛徳(佐賀大学低平地沿岸海域研究センター)



# 1. 地球温暖化に伴う海水面上昇が地盤工学的性質に及ぼす影響

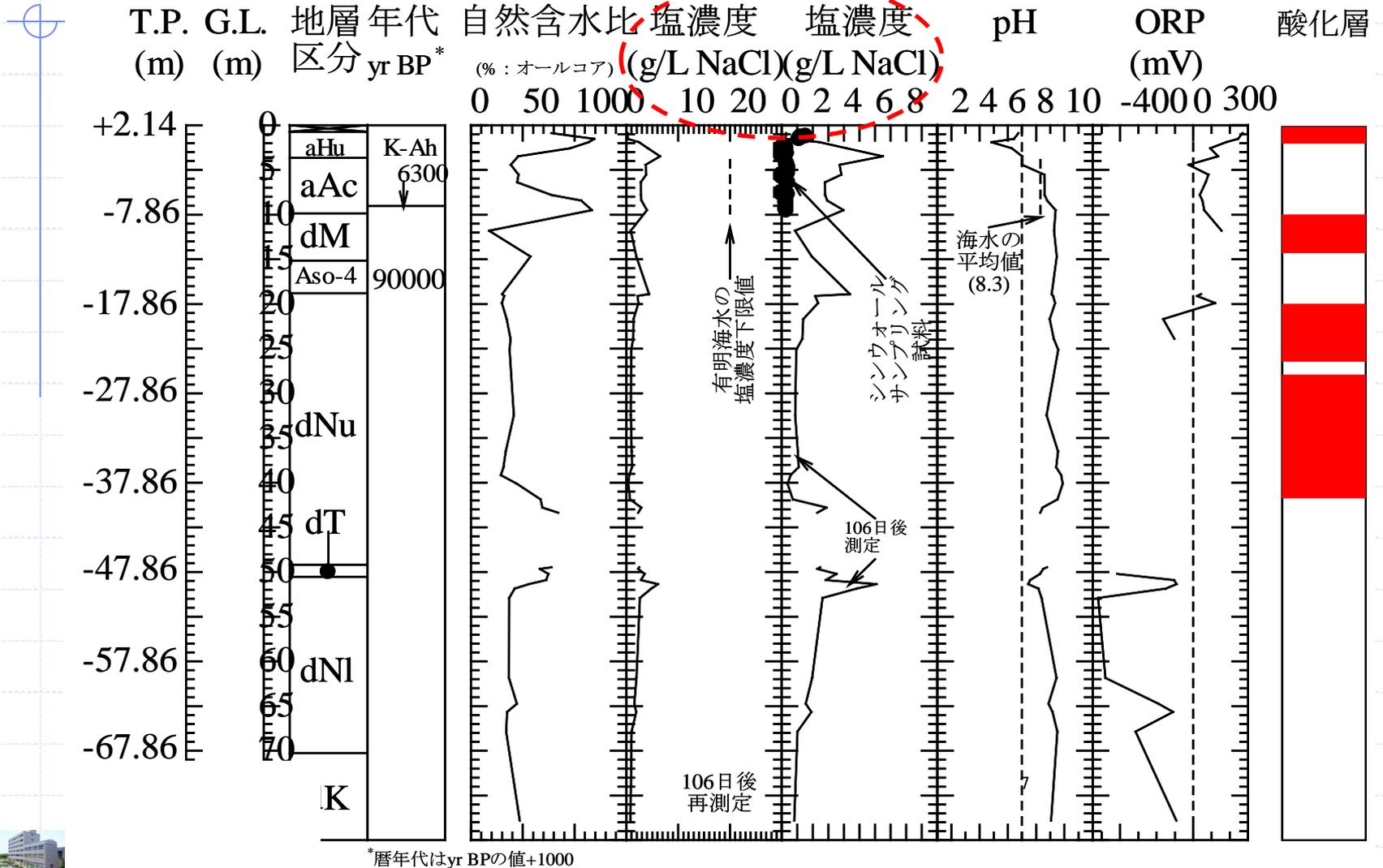


# 1.1 産総研・柳川コアの掘削位置



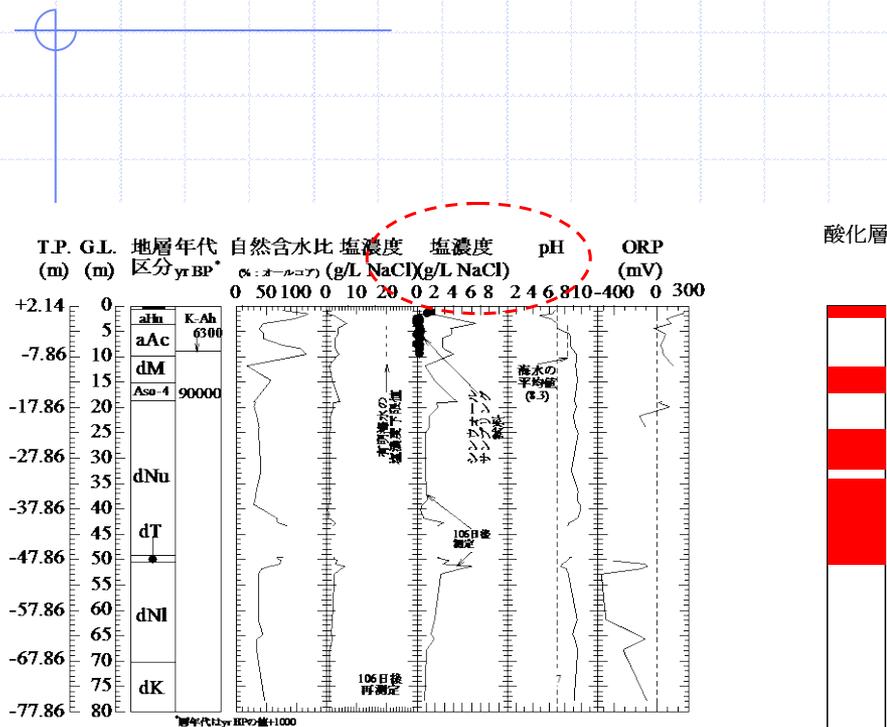
# 1.2 堆積当初と現在の地盤環境の比較

## 1.2.1 塩濃度の測定に認められるコア風化の影響 (1)



## 1.2 堆積当初と現在の地盤環境の比較

### 1.2.1 塩濃度の測定に認められるコア風化の影響 (2)



■一部の塩濃度を除く各測定結果は掘削直後のコアを直ちに半割りした後に求めたもの

■市販の食品用塩分計(Na<sup>+</sup>検知型比較電極)を用いて測定

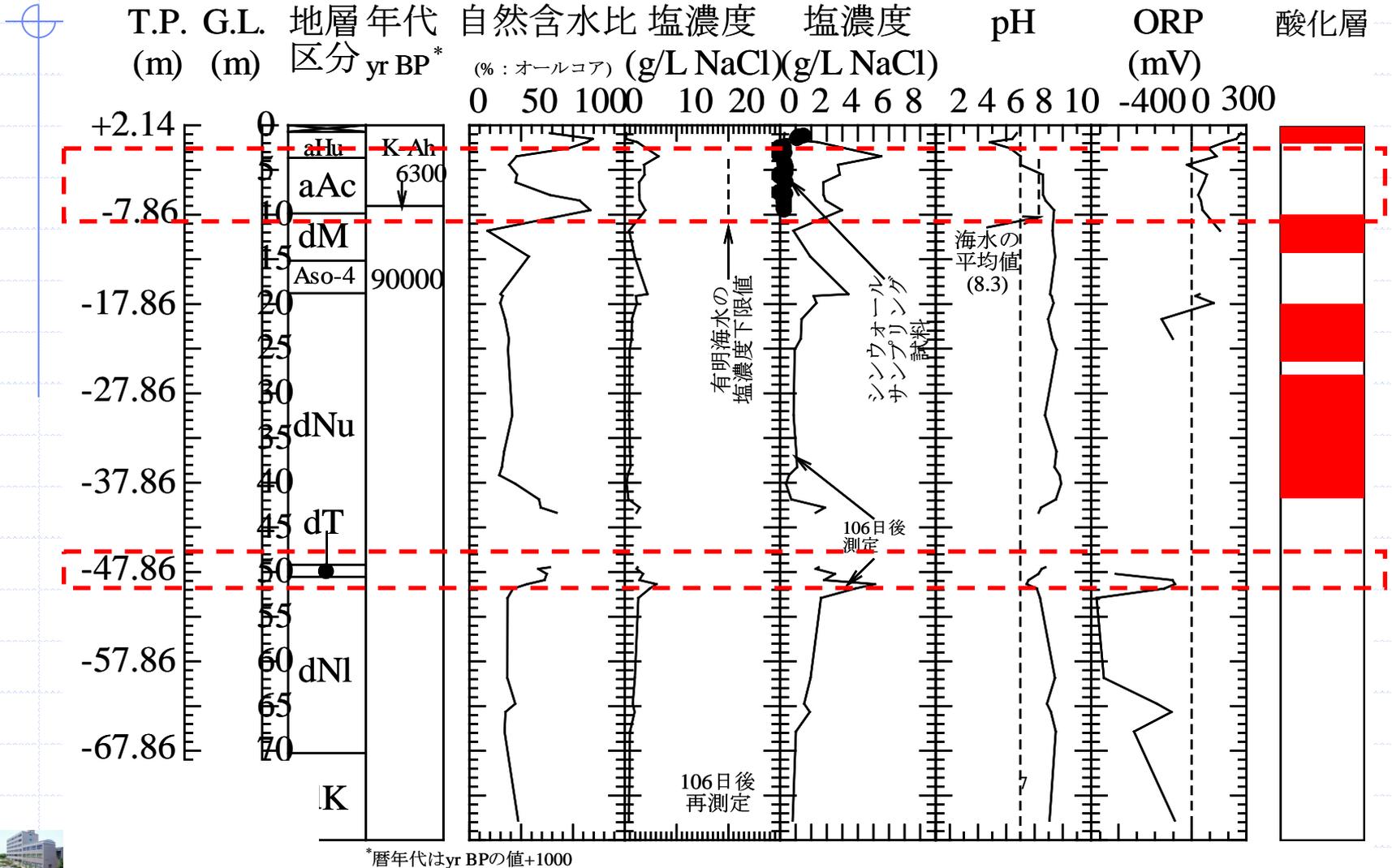
■掘削直後のコア試料を分取して塩濃度を測定した際は過剰希釈により塩分計がうまく検知できなかった

■掘削から106日経過後の結果は、コアの風化に伴い塩濃度の値が過大に得られている傾向にあることがわかった



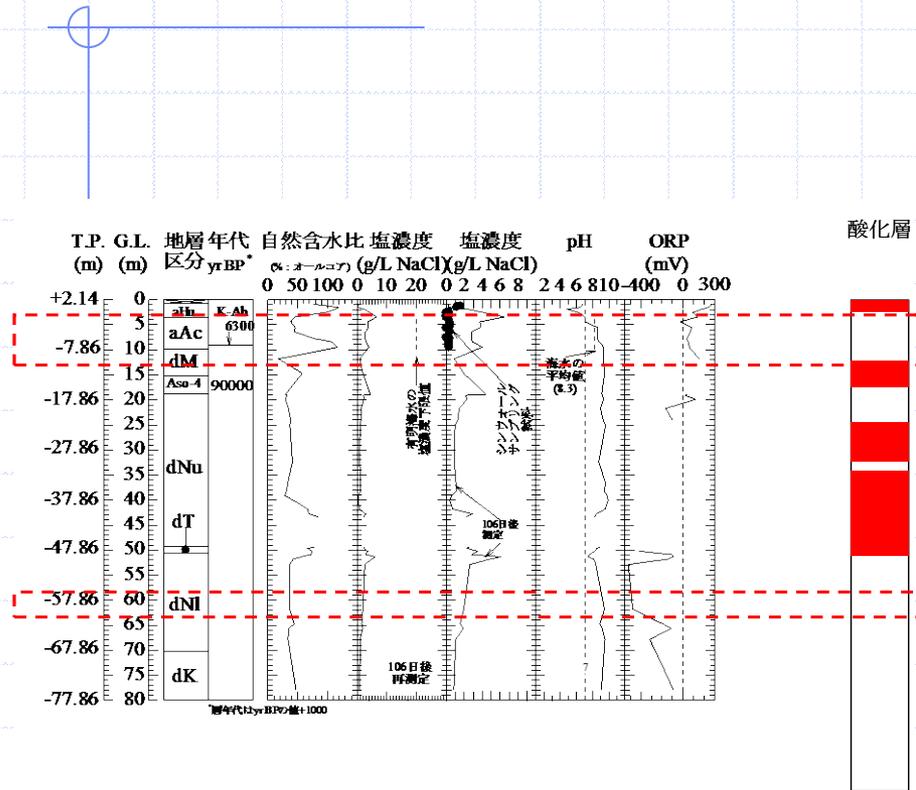
# 1.2 堆積当初と現在の地盤環境の比較

## 1.2.2 強い塩分溶脱現象の確認 (1)



# 1.2 堆積当初と現在の地盤環境の比較

## 1.2.2 強い塩分溶脱現象の確認 (2)



■ 産総研・柳川コアにおいては**有明粘土層(aAc)と高木瀬層(dT)の2層**の海成層の存在を確認

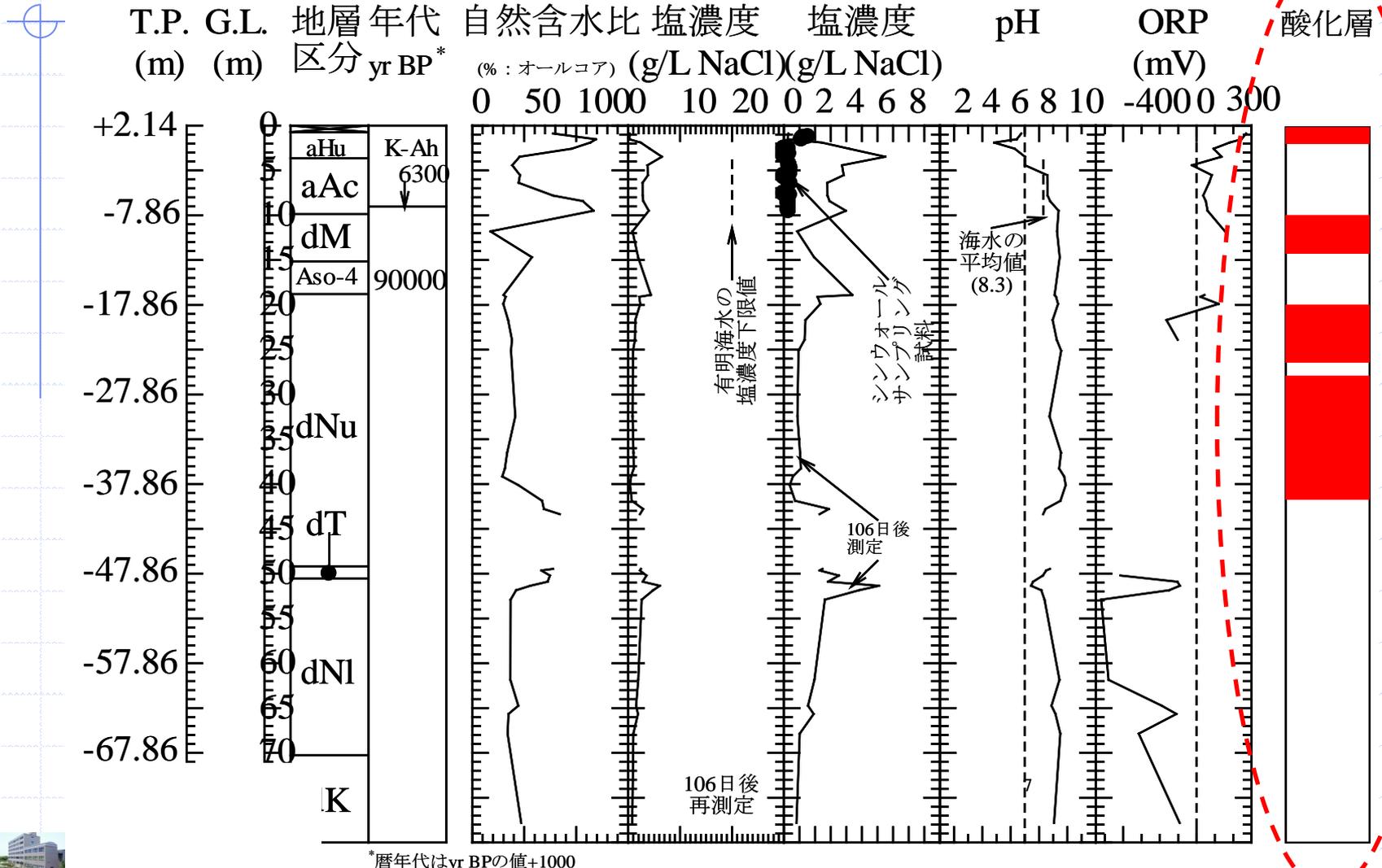
■ 現在の有明海における6m以上の干満差や湾奥部における反時計回りの潮流などの海象は約8,000年前から生じていた、有明海水の塩濃度の下限値はNaCl換算で少なくとも20g/L程度は有していた、etc...

■ 前述の塩濃度に関する問題を差し引いても、両海成層は強い塩分溶脱の傾向にあることがうかがえる



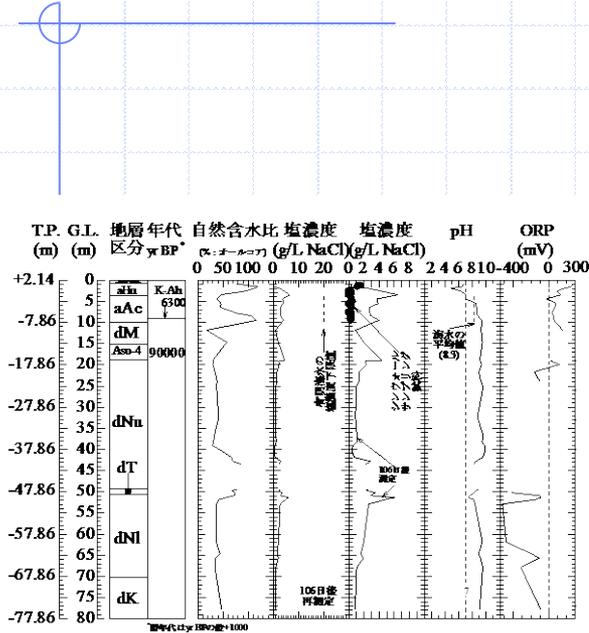
## 1.2 堆積当初と現在の地盤環境の比較

### 1.2.3 数層の砂礫層に認められる著しい酸化状態 (1)



# 1.2 堆積当初と現在の地盤環境の比較

## 1.2.3 数層の砂礫層に認められる著しい酸化状態 (2)

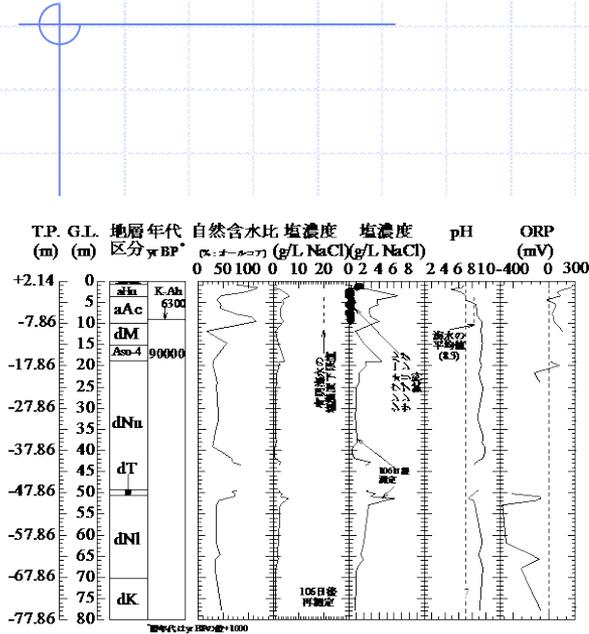


酸化層



# 1.2 堆積当初と現在の地盤環境の比較

## 1.2.3 数層の砂礫層に認められる著しい酸化状態 (3)

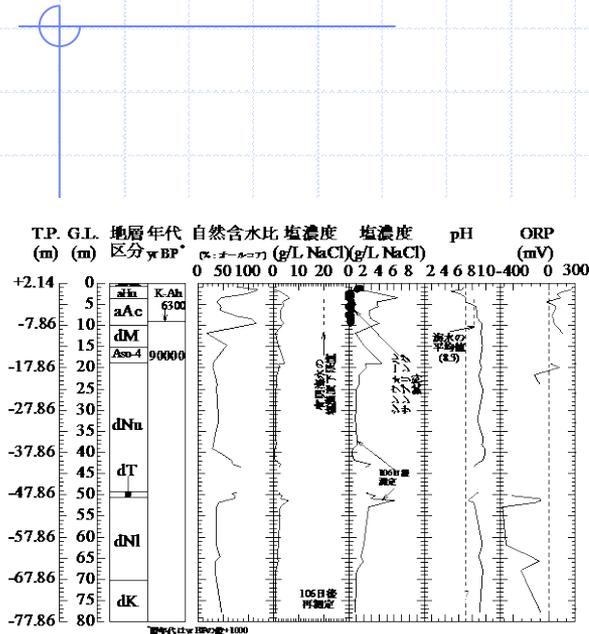


酸化層



## 1.2 堆積当初と現在の地盤環境の比較

### 1.2.3 数層の砂礫層に認められる著しい酸化状態 (4)

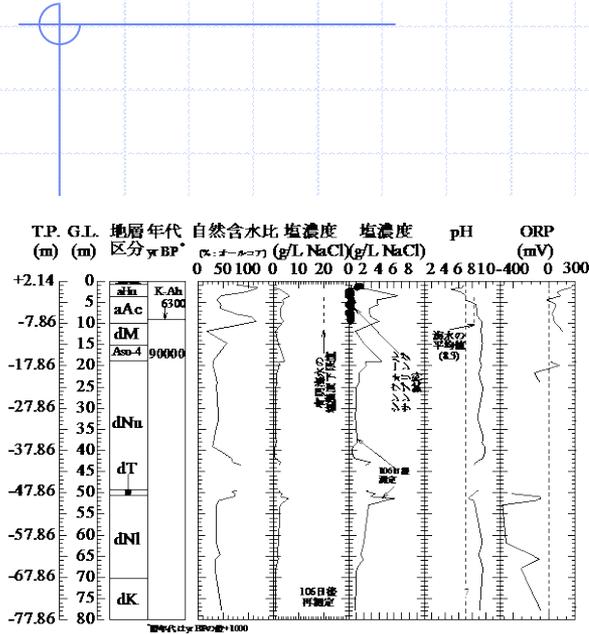


酸化層



## 1.2 堆積当初と現在の地盤環境の比較

### 1.2.3 数層の砂礫層に認められる著しい酸化状態 (5)

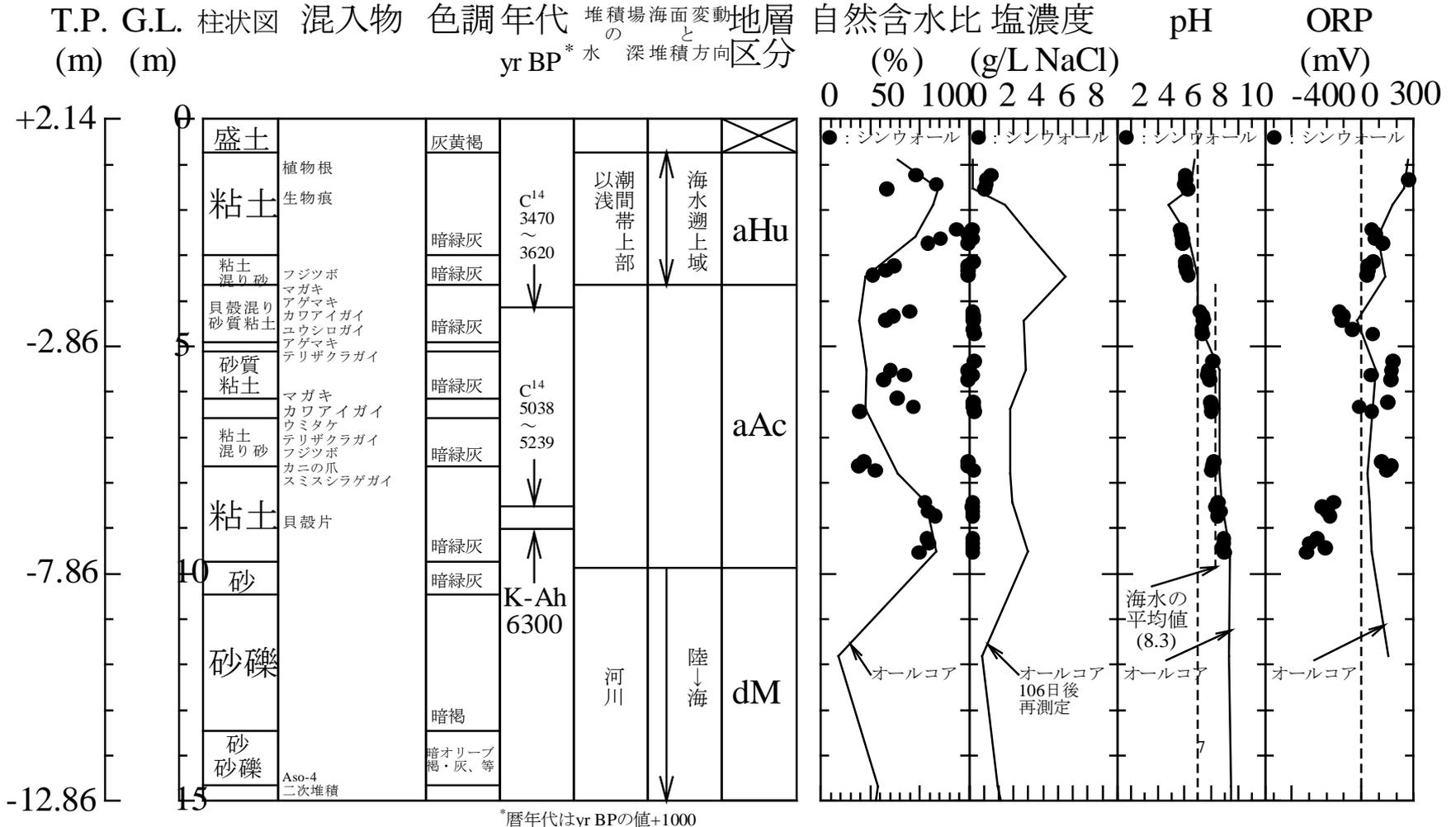


酸化層



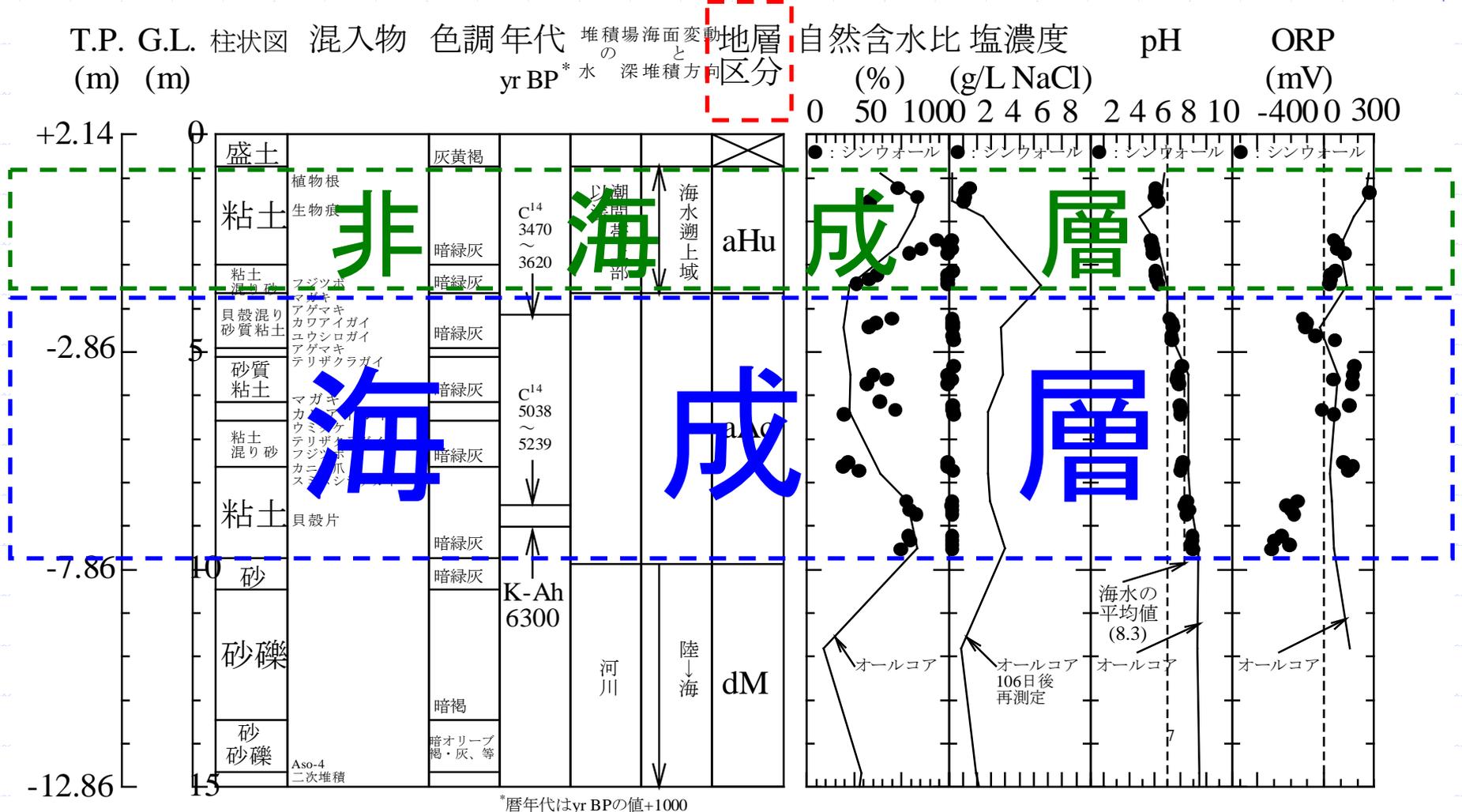
# 1.3 完新統における地盤環境の比較

## 1.3.1 シンウォールサンプリング試料から得られた結果



# 1.3 完新統における地盤環境の比較

## 1.3.2 海成層と非海成層の区分

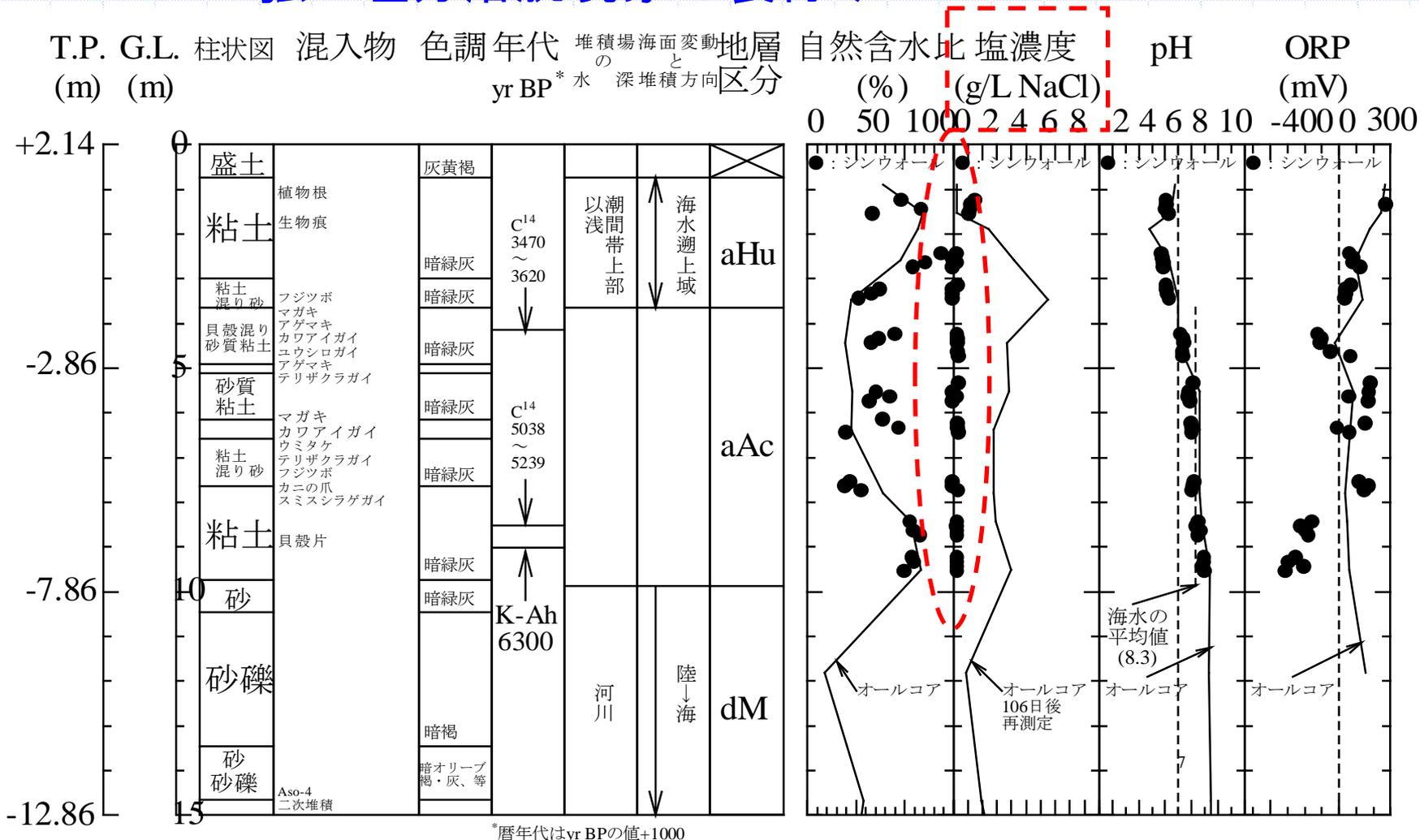


\*暦年代はyr BPの値+1000



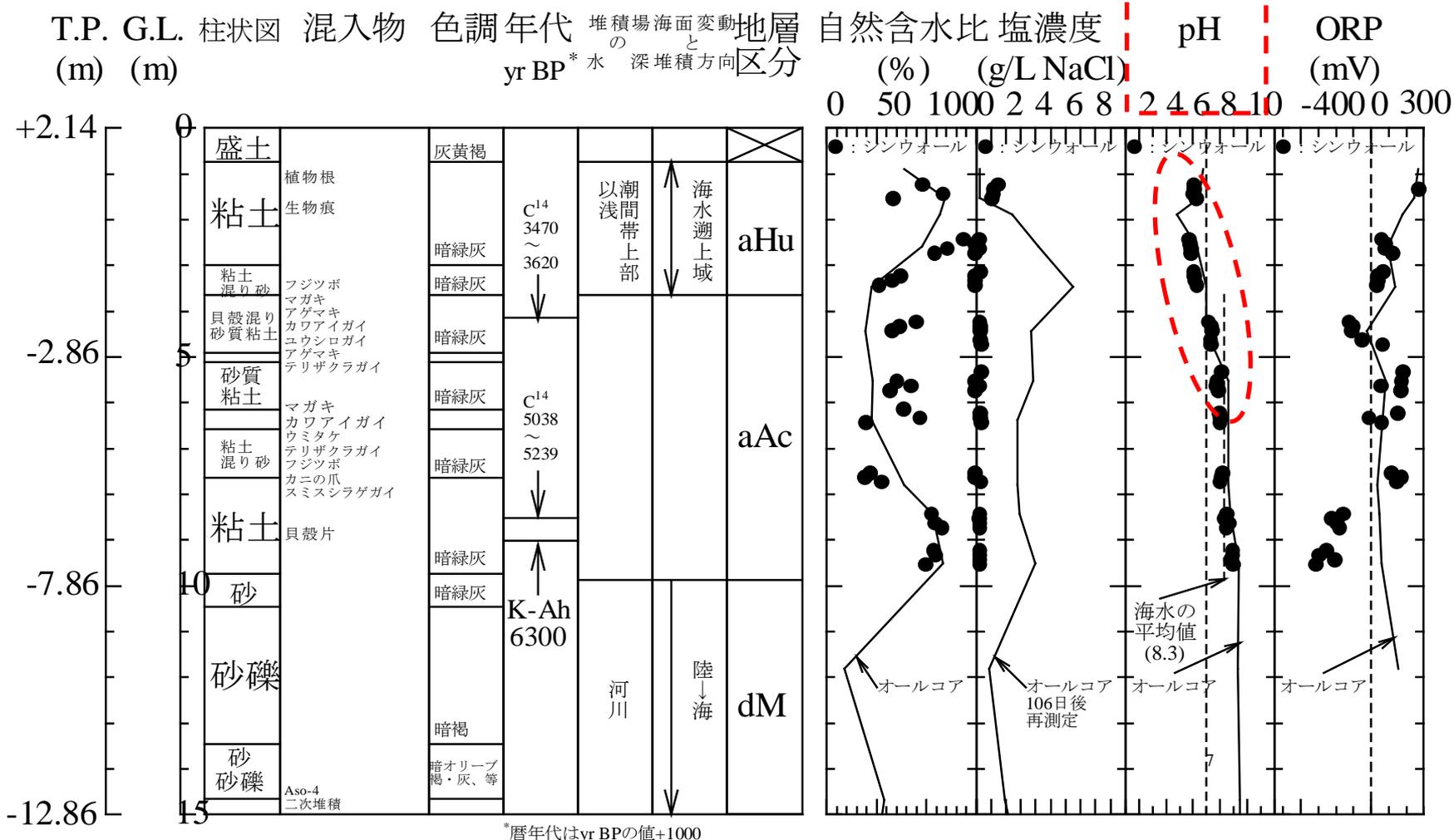
# 1.3 完新統における地盤環境の比較

## 1.3.3 強い塩分溶脱現象の裏付け



# 1.3 完新統における地盤環境の比較

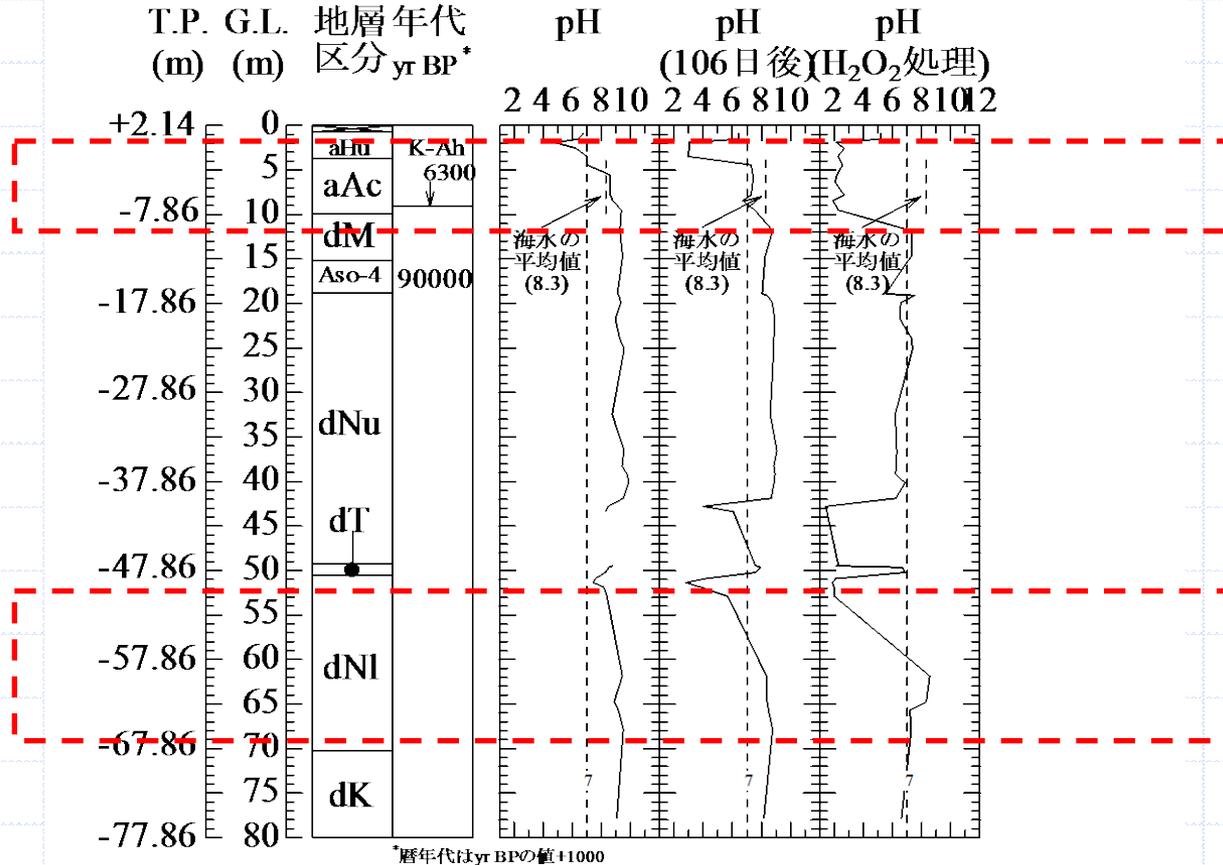
## 1.3.4 アルカリ性から酸性への変化





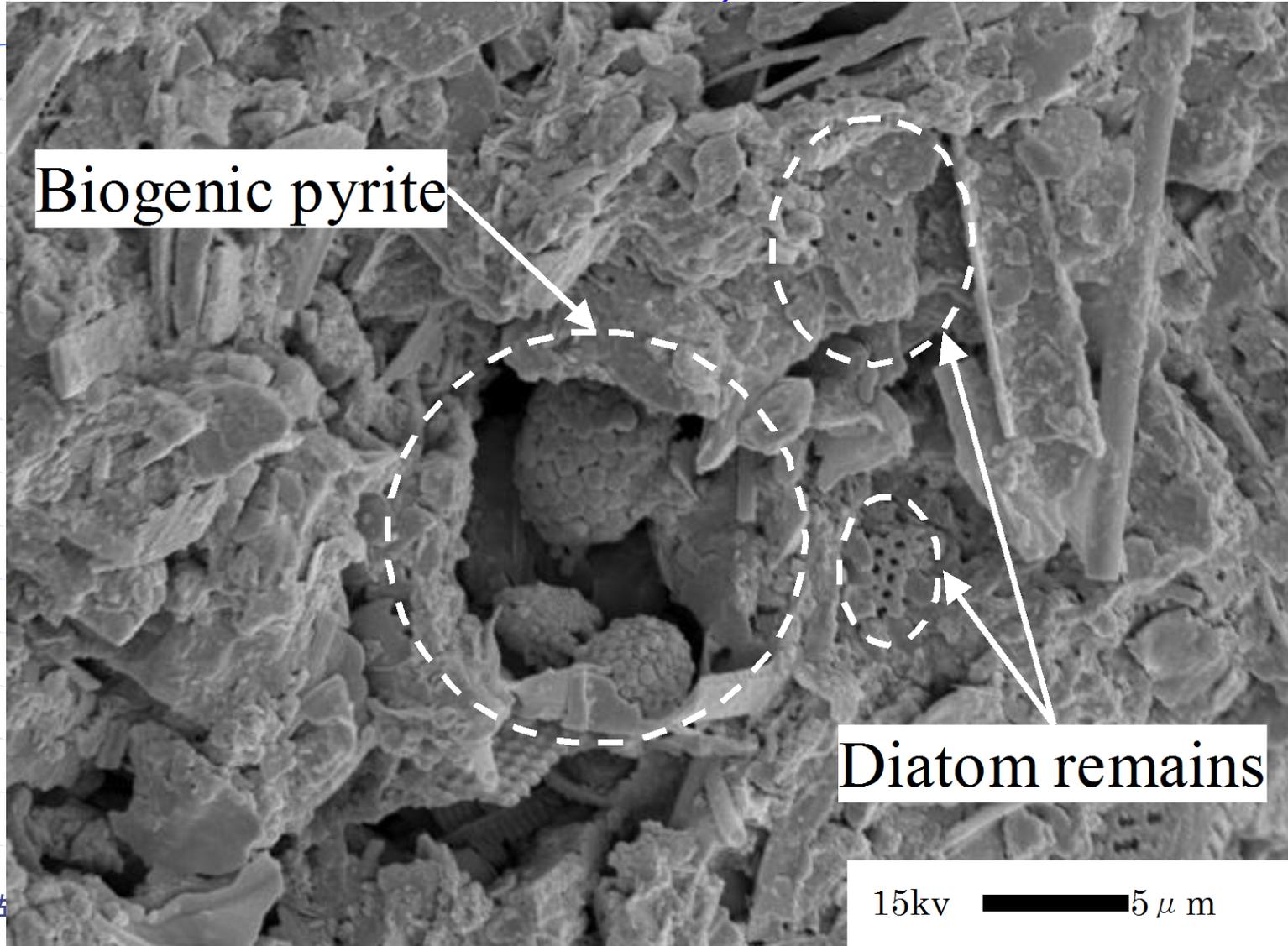
# 1.4 地盤環境の変遷メカニズムに関する考察

## 1.4.1 pHの経時変化



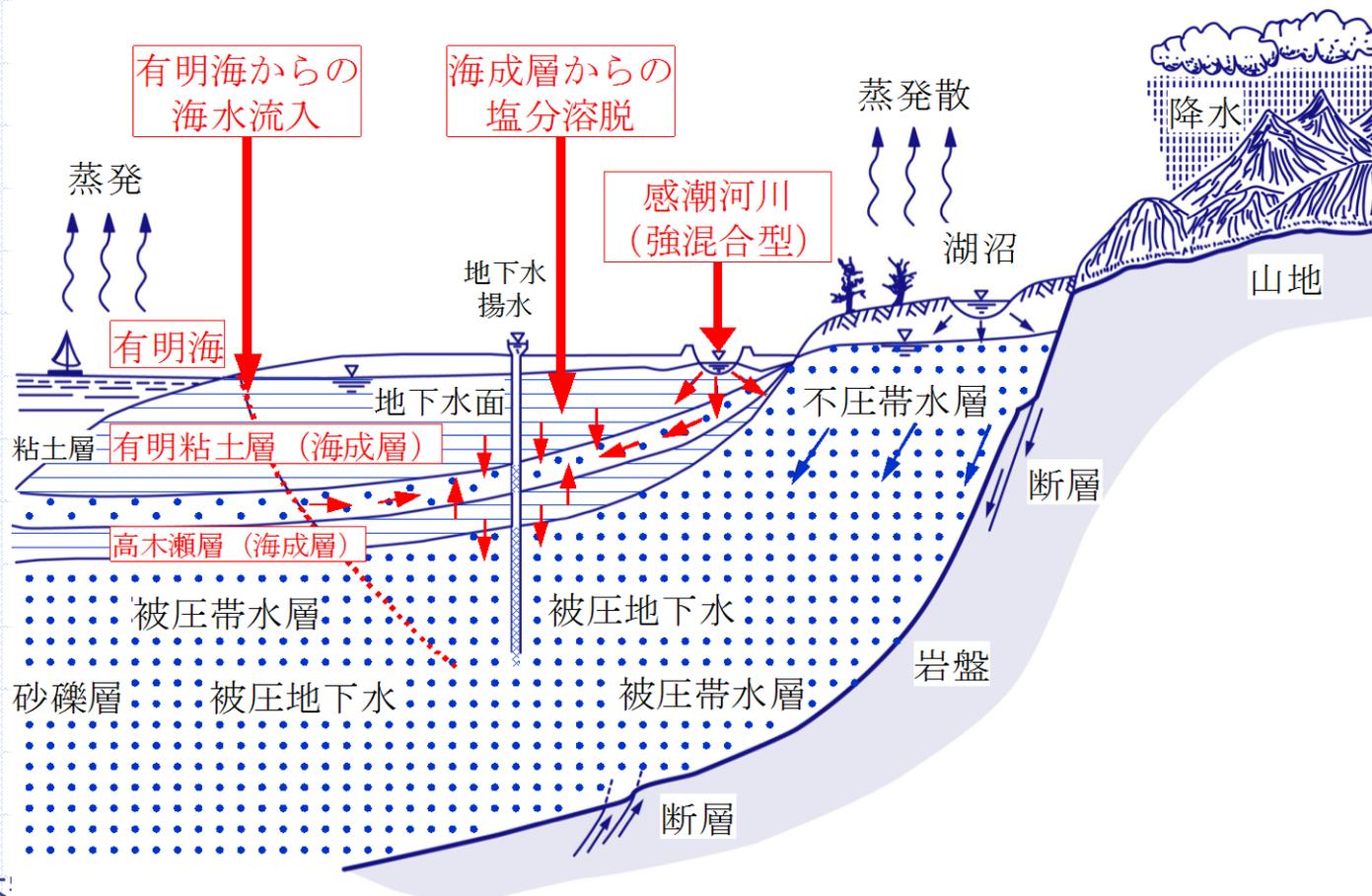
## 1.4 地盤環境の変遷メカニズムに関する考察

### 1.4.2 生物起源パイライト( $\text{FeS}_2$ )の存在



## 1.4 地盤環境の変遷メカニズムに関する考察

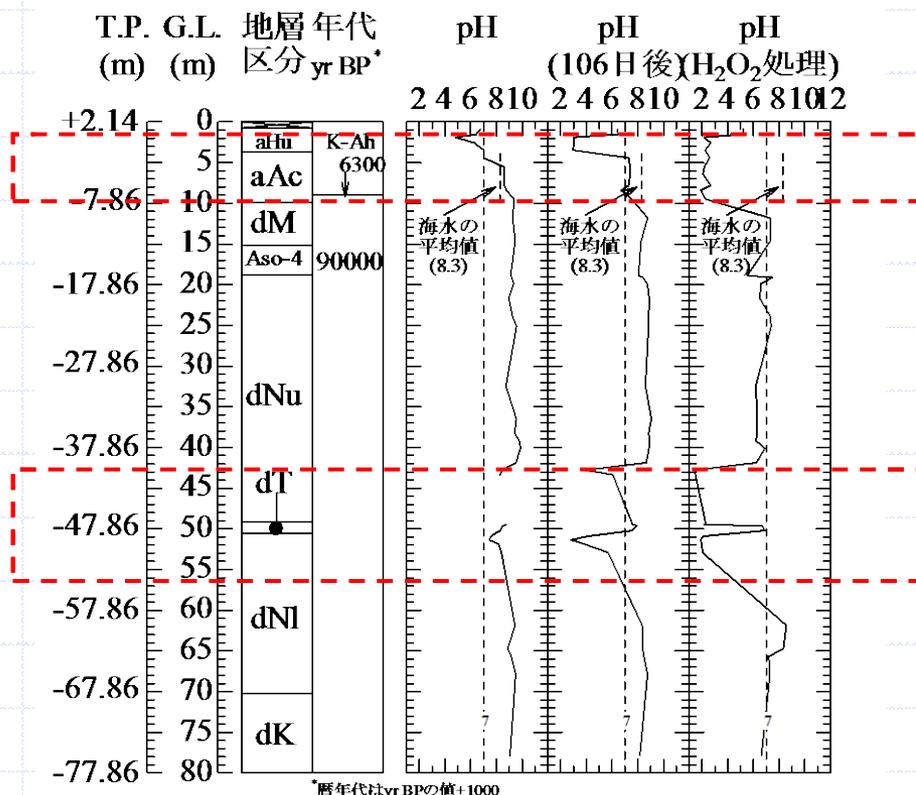
### 1.4.3 柳川市を含む福岡県筑後平野一帯に認められる 地盤沈下のメカニズムの注目(鬼塚・根上, 2006)(1)



## 1.4 地盤環境の変遷メカニズムに関する考察

### 1.4.3 柳川市を含む福岡県筑後平野一帯に認められる

### 地盤沈下のメカニズムの注目(鬼塚・根上, 2006)(2)



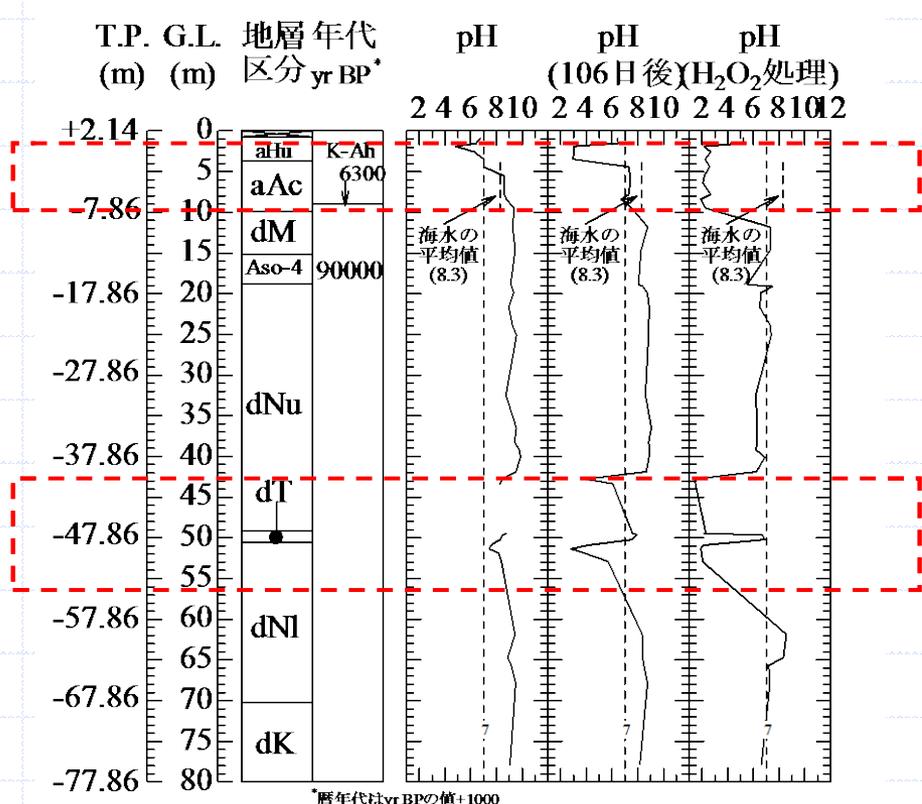
■ 鬼塚・根上は前述のメカニズムの説明として、石炭採掘に伴う坑内湧水くみ上げと深層部における水位低下の概念図を示し、50年間で8億 $m^3$ に及ぶ坑内水のくみ上げを説明に組み入れている

■ 今なお酸素に富む水が注目の砂礫層群に流入しているならば、海成層群はまるで地下から地表に向けての風化(地下風化と呼ぶ)による変化をたどると考えられる



## 1.4 地盤環境の変遷メカニズムに関する考察

### 1.4.4 二次的な地盤環境の変化が軟弱地盤対策工法に及ぼす影響



■ アルカリ性下で強度を発現する深層混合処理工法やセメント杭などの軟弱地盤対策に及ぼす影響の究明が課題

■ 高鋭敏性・高圧縮性化を生じせしめ沈下・変形問題を一層複雑化させる可能性、etc...

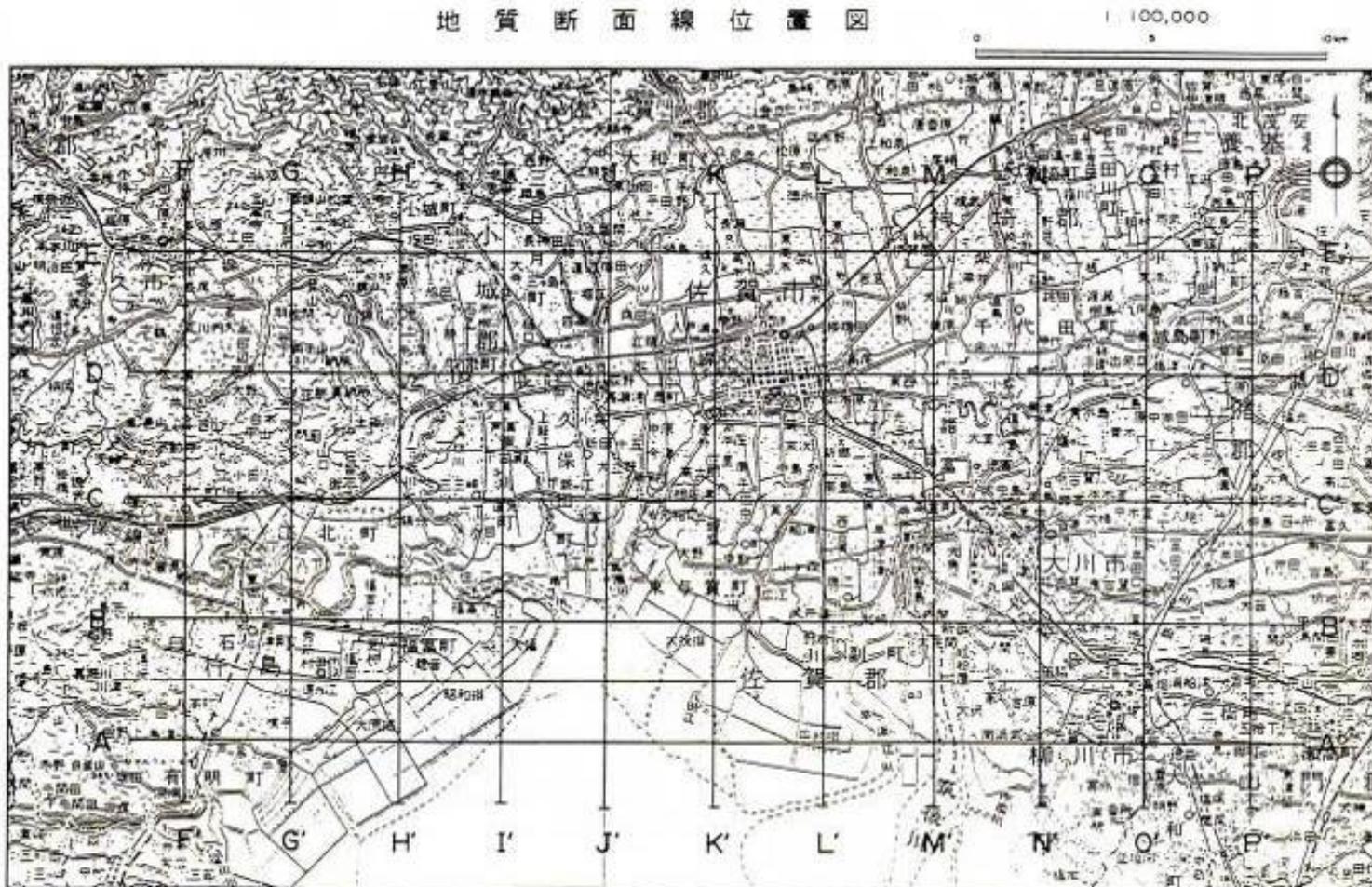


## 2. 地球温暖化に伴う海水面上昇が地下水質に及ぼす影響

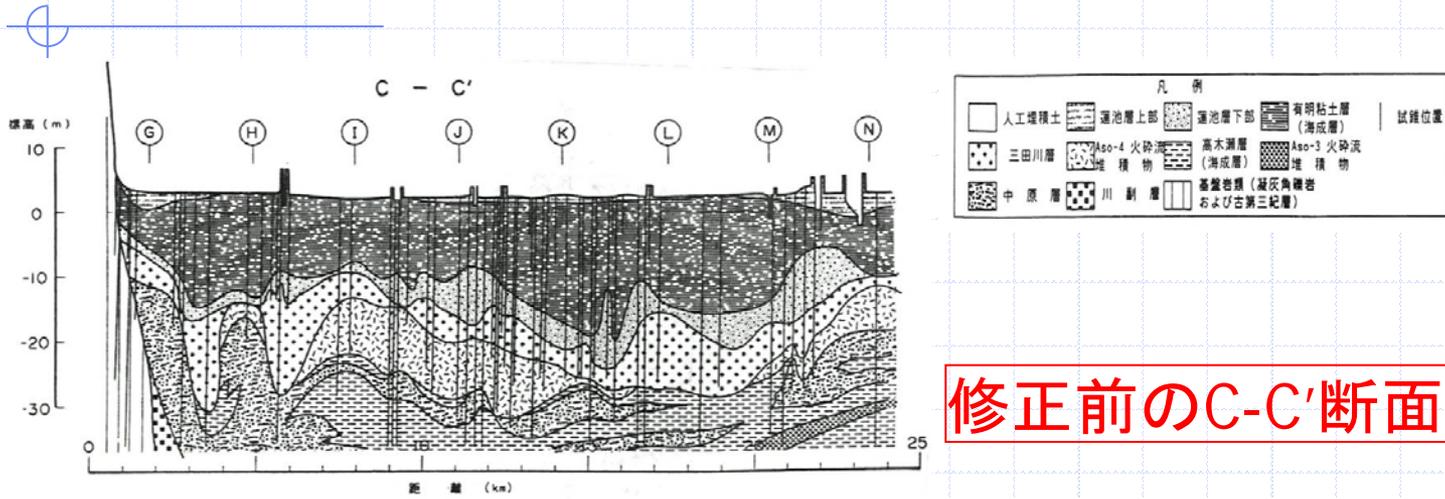


## 2.1 地下断面図の修正

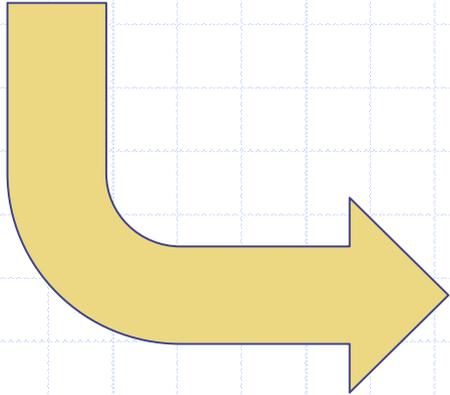
(社)土質工学会「堆積環境が地盤特性に及ぼす影響に関する研究委員会」  
・九州地区部会(1992~1995)による地質断面線の位置図



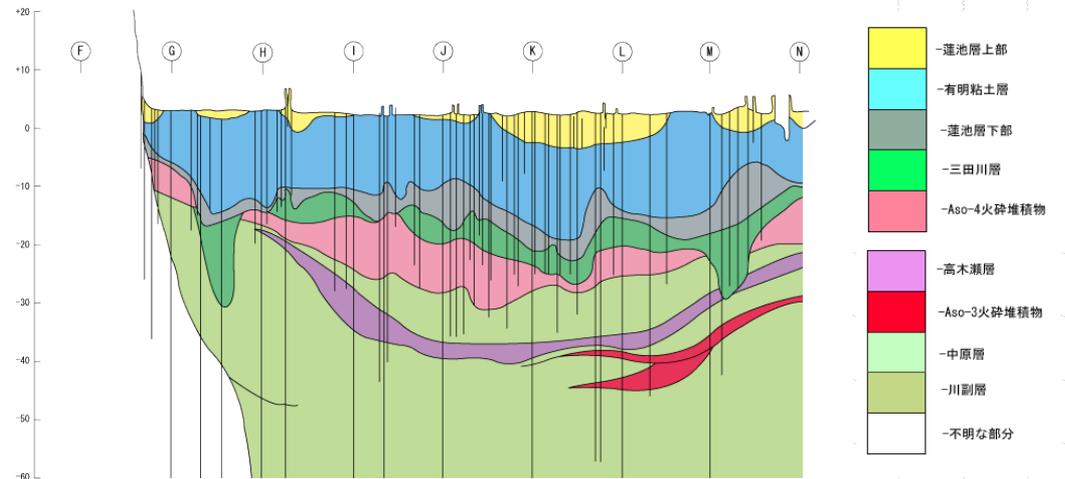
## 2.2 地下断面図の修正結果



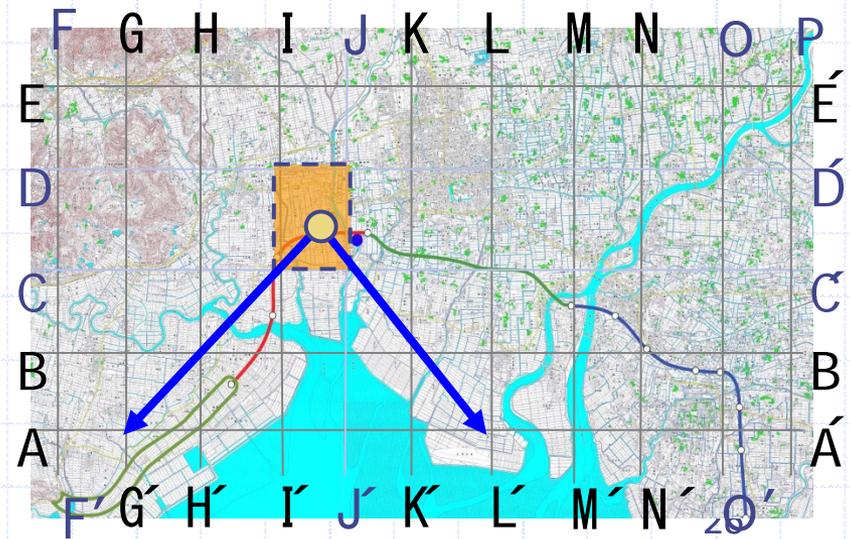
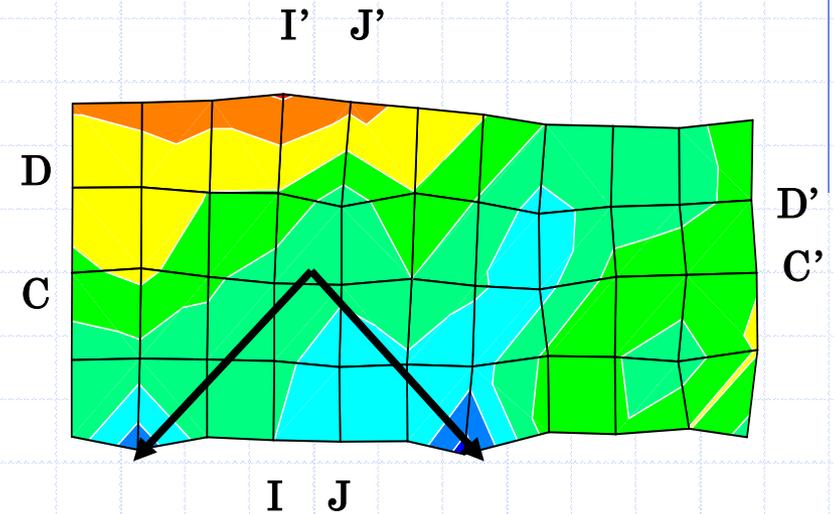
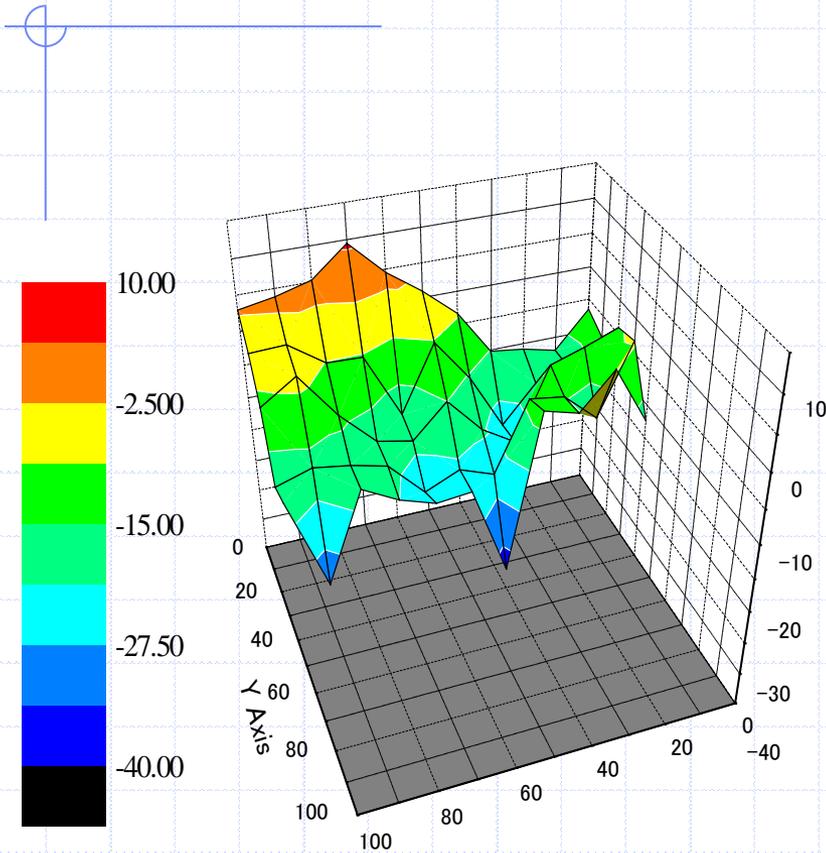
修正前のC-C'断面



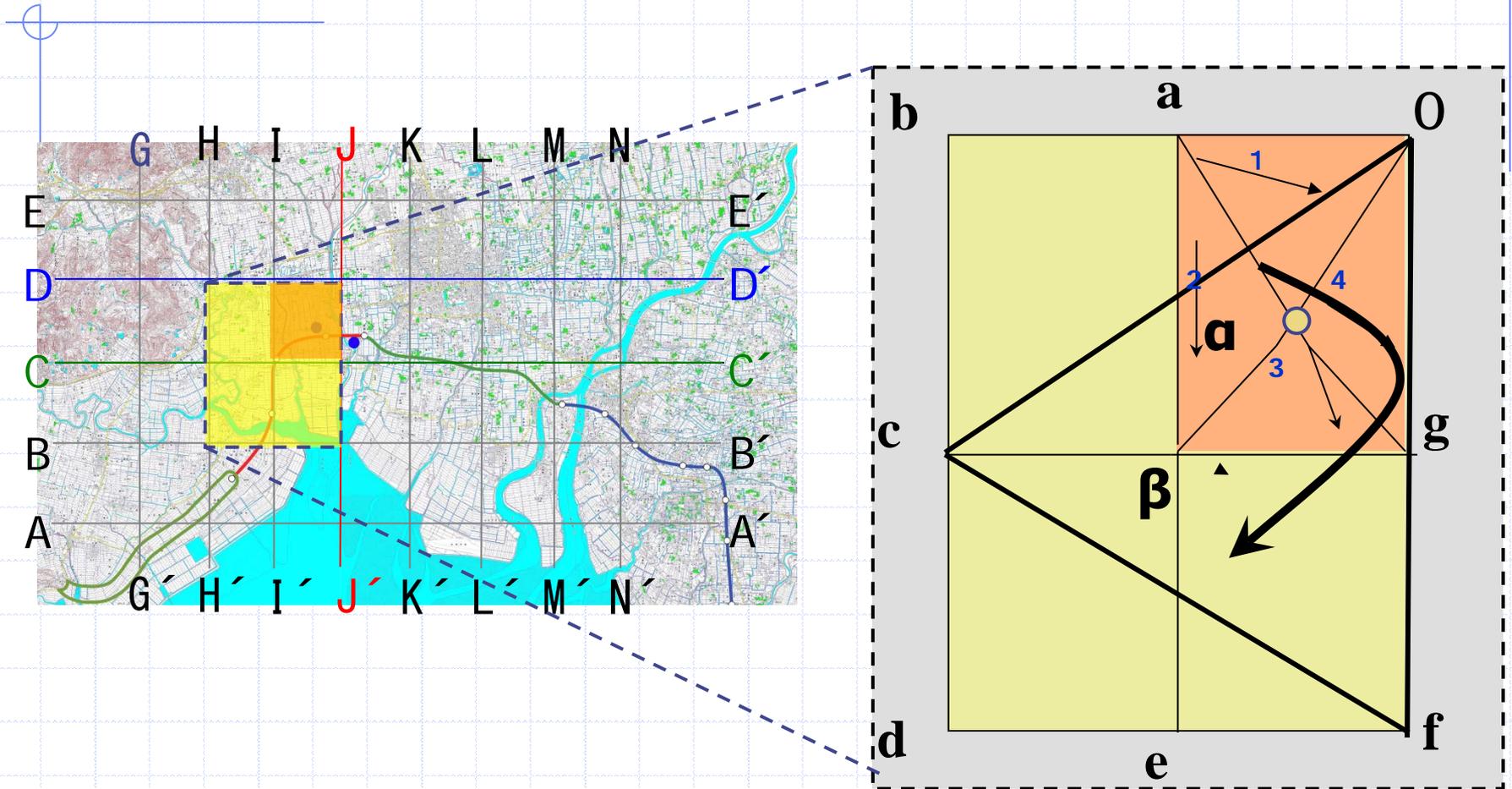
修正前のC-C'断面



## 2.3 3次元可視化



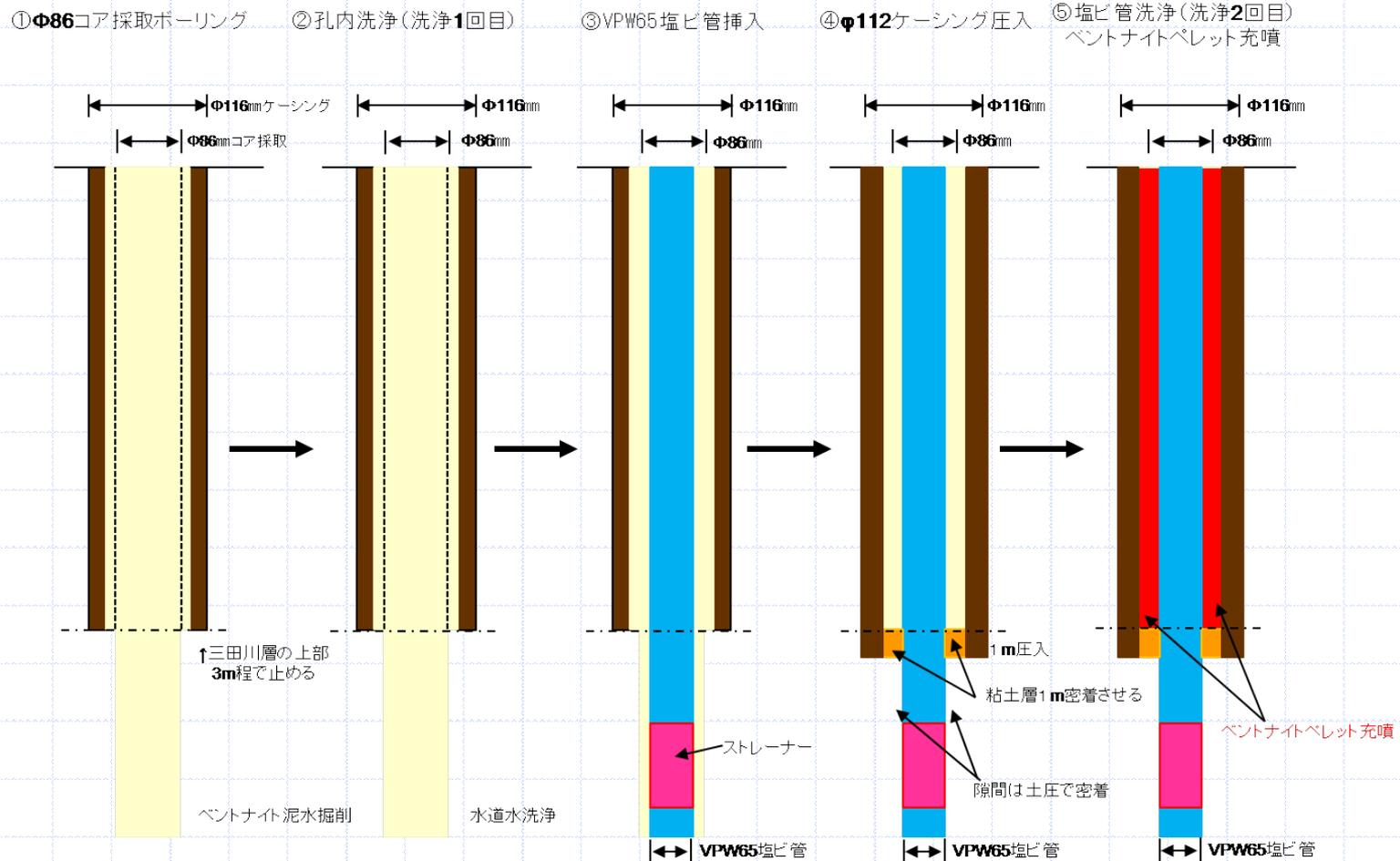
## 2.4 勾配計算に基づく流向の推測



## 2.5 地下水流向・流速の計測地点



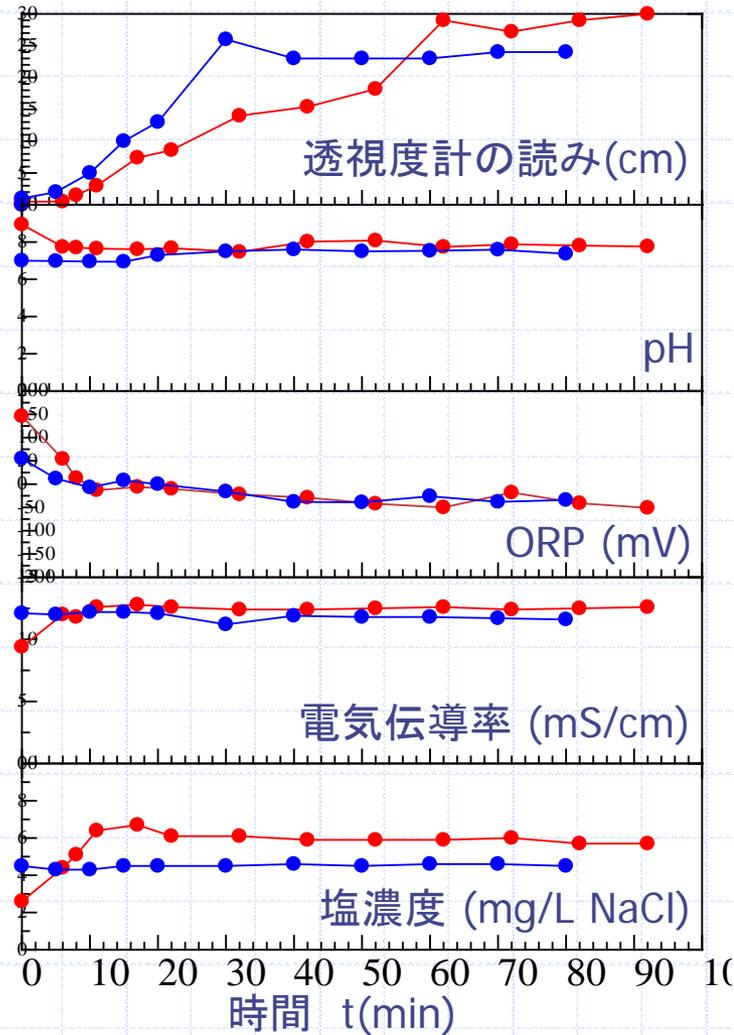
## 2.6 地下水観測井の設置方法



## 2.7 観測井の洗浄状況と結果

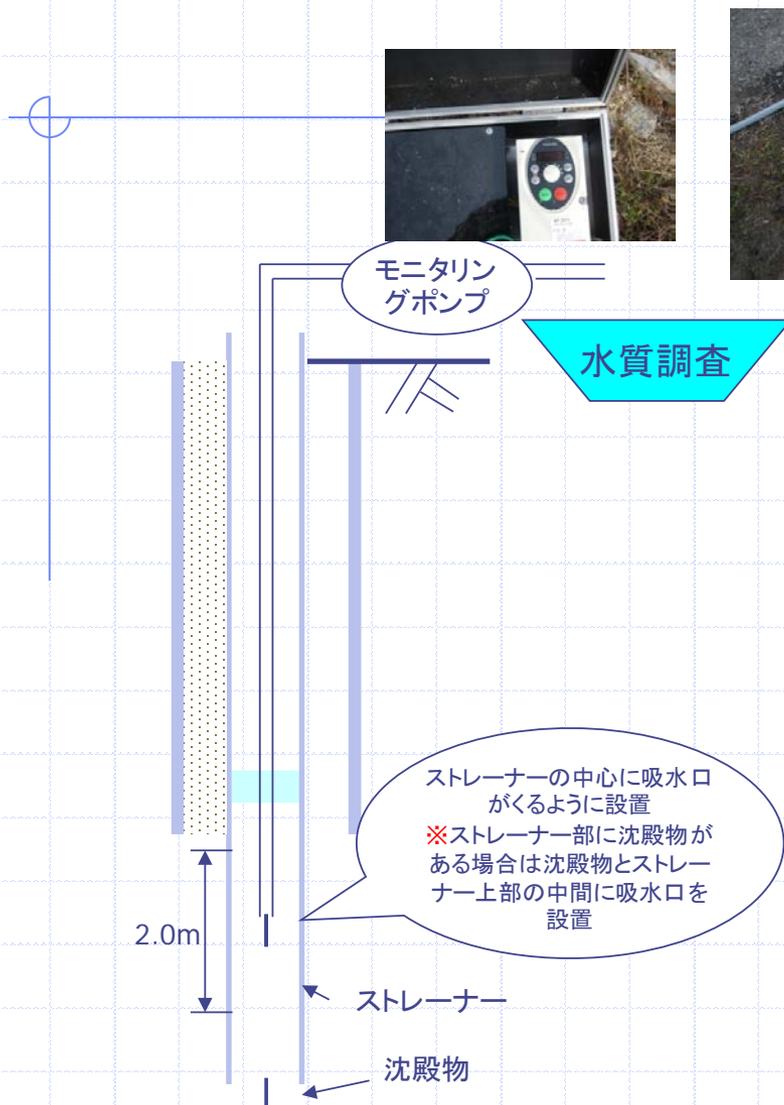


エアリフト工法による観測井の  
洗浄状況

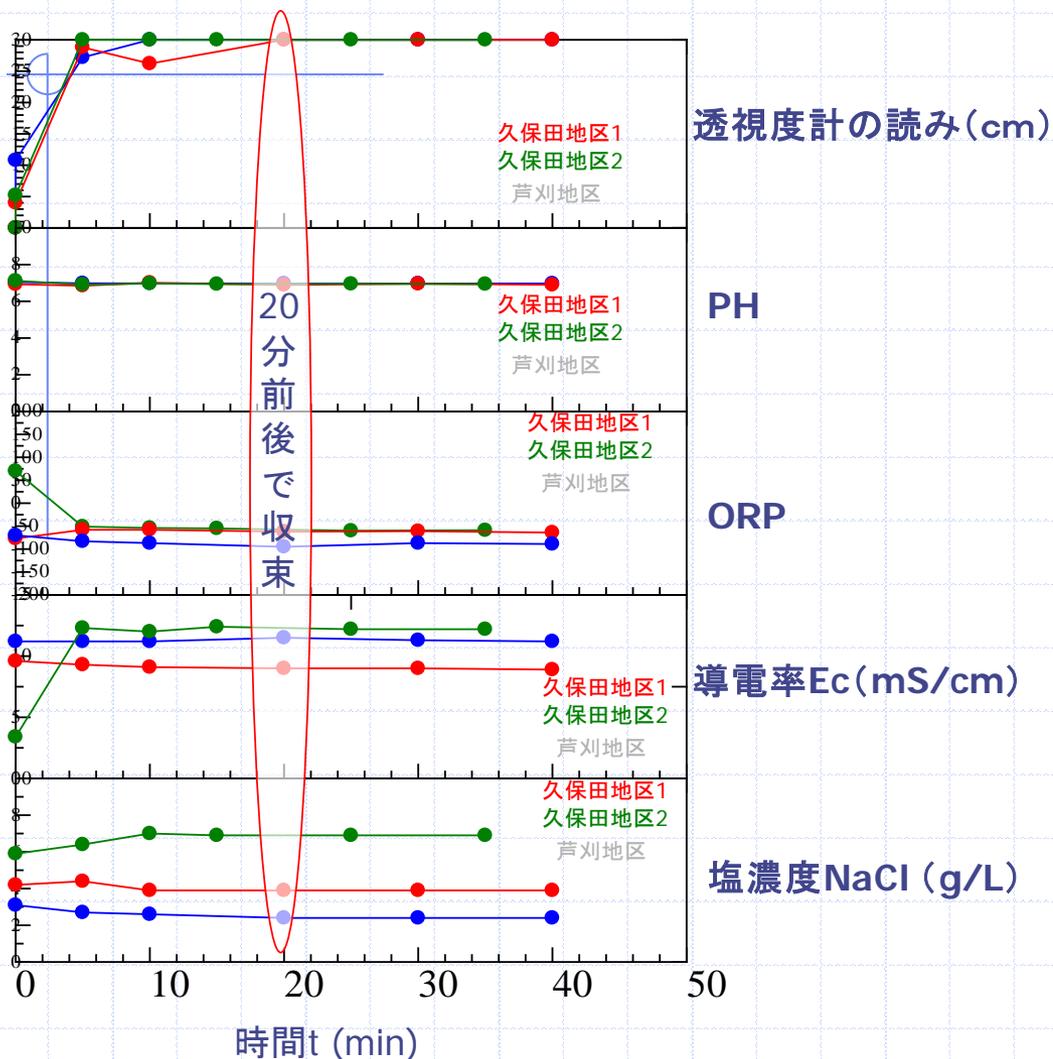


洗浄中の各水質の経時変化  
の一例

## 2.8 洗浄時の揚水状況



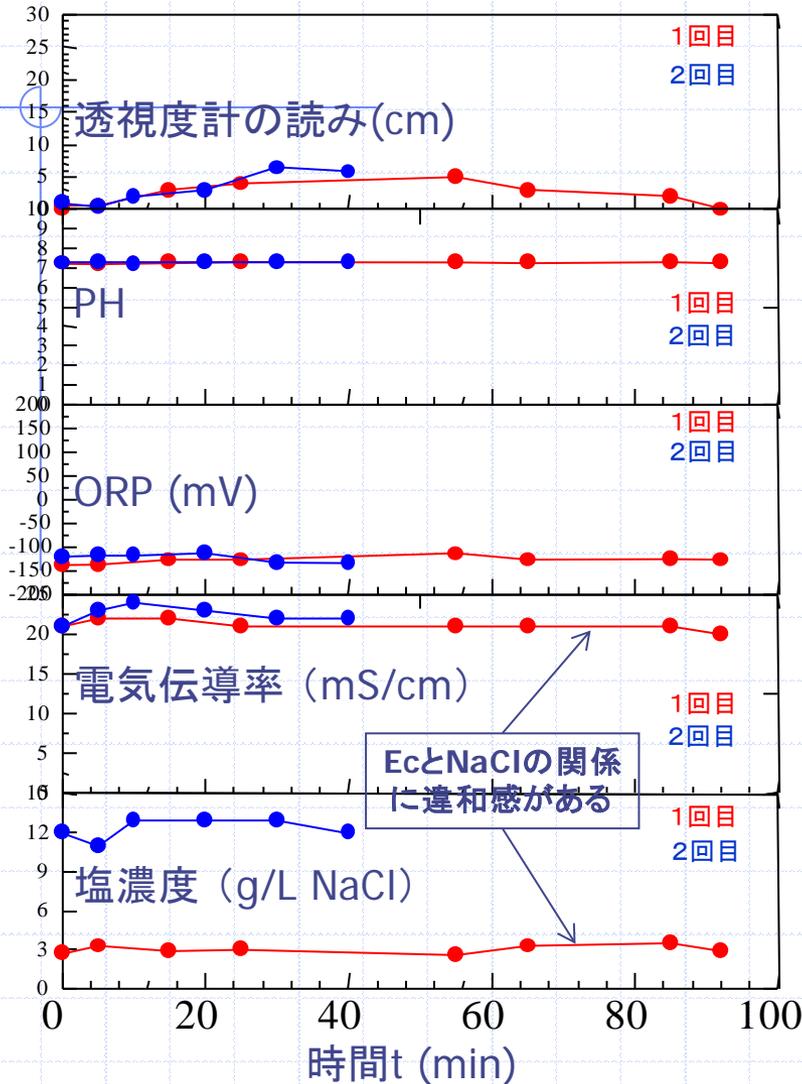
## 2.9 揚水時の水質調査結果(嘉瀬地区以外)



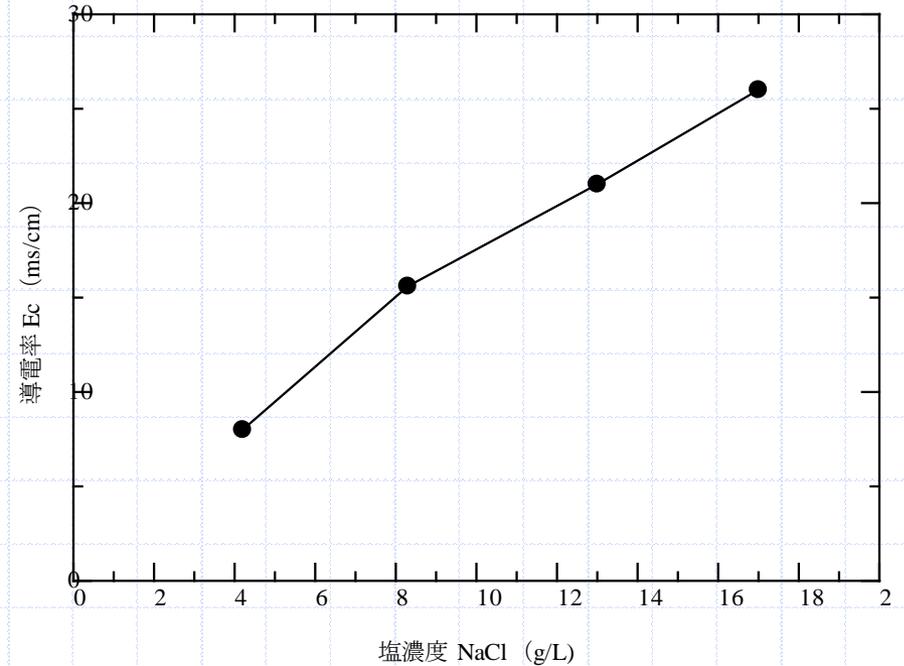
場所	流量 (L/min)	収束までの揚水量 (L)	貯留量 (L)	土壤環境センター基準 (L)
久保田地区1	3.9	78	64.1	129.3 ~ 320.5
久保田地区2	6.3	126	53.5	160.5 ~ 321
芦刈地区	3.3	66	45.8	137.4 ~ 229



## 2.10 揚水時の水質調査結果(嘉瀬地区)



場所	流量 (L/min)	収束までの揚水量 (L)	貯留水 (L)	土壤環境センター基準 (L)
嘉瀬地区	4.8	-	41.4	124.2 ~ 207



## 2.11 第二種特定有害物質等の分析結果

分析項目	単位	定量下限値	基準値	久保田 地区1	昨年の 久保田 地区1	嘉瀬 地区	昨年の 嘉瀬 地区
鉛	mg/L	0.001	0.01以下	0.005	0.008	ND	0.014
六価クロム	mg/L	0.005	0.05以下	ND	ND	ND	ND
ヒ素	mg/L	0.001	0.01以下	0.007	0.007	0.003	0.004
フッ素	mg/L	0.08	0.8以下	0.76	0.13	0.27	0.56
ホウ素	mg/L	0.1	1以下	1.5	0.2	0.3	1.5
硝酸態窒素	mg/L	0.02	10以下	ND	0.04	0.04	0.03

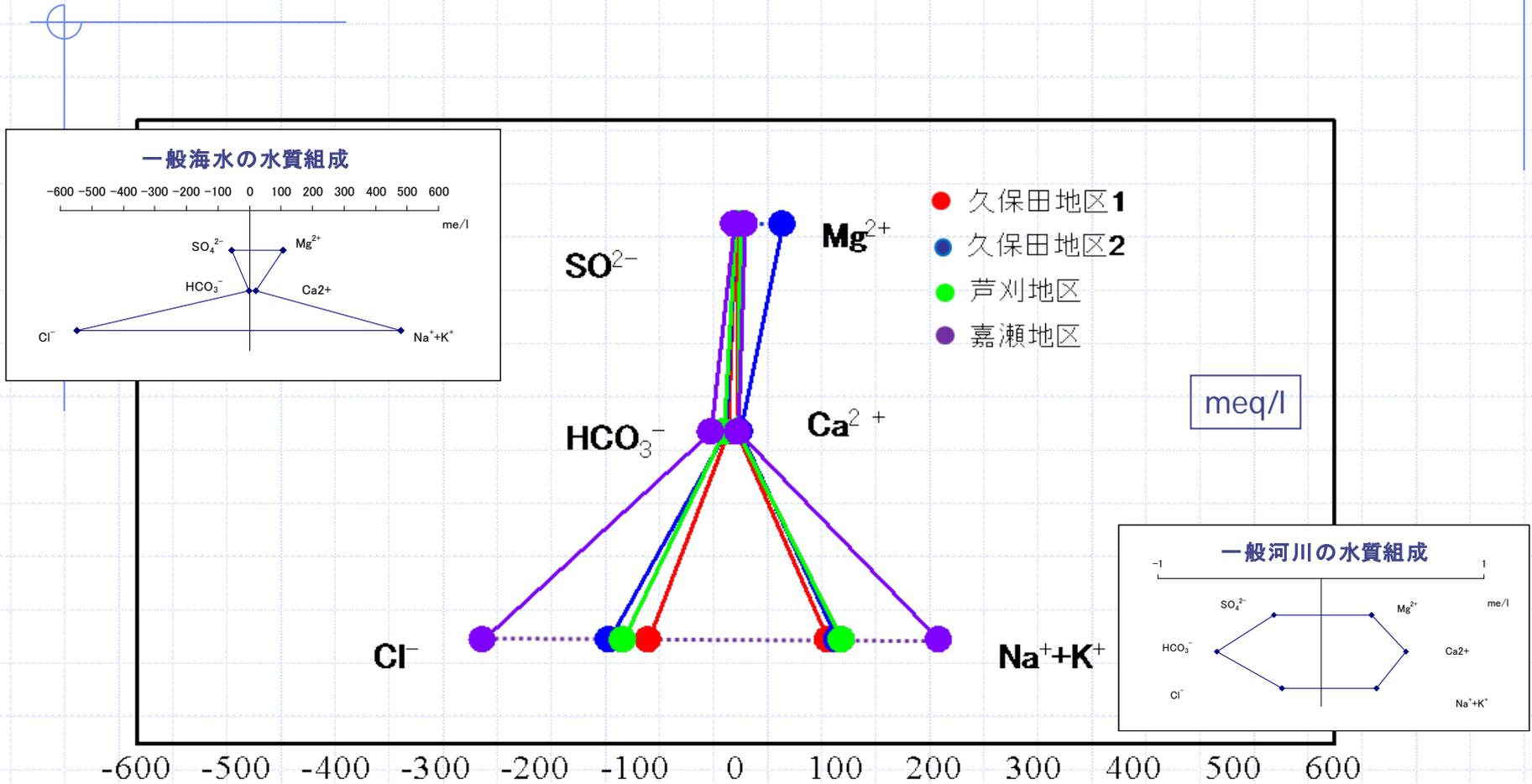


## 2.12 主成分の分析結果

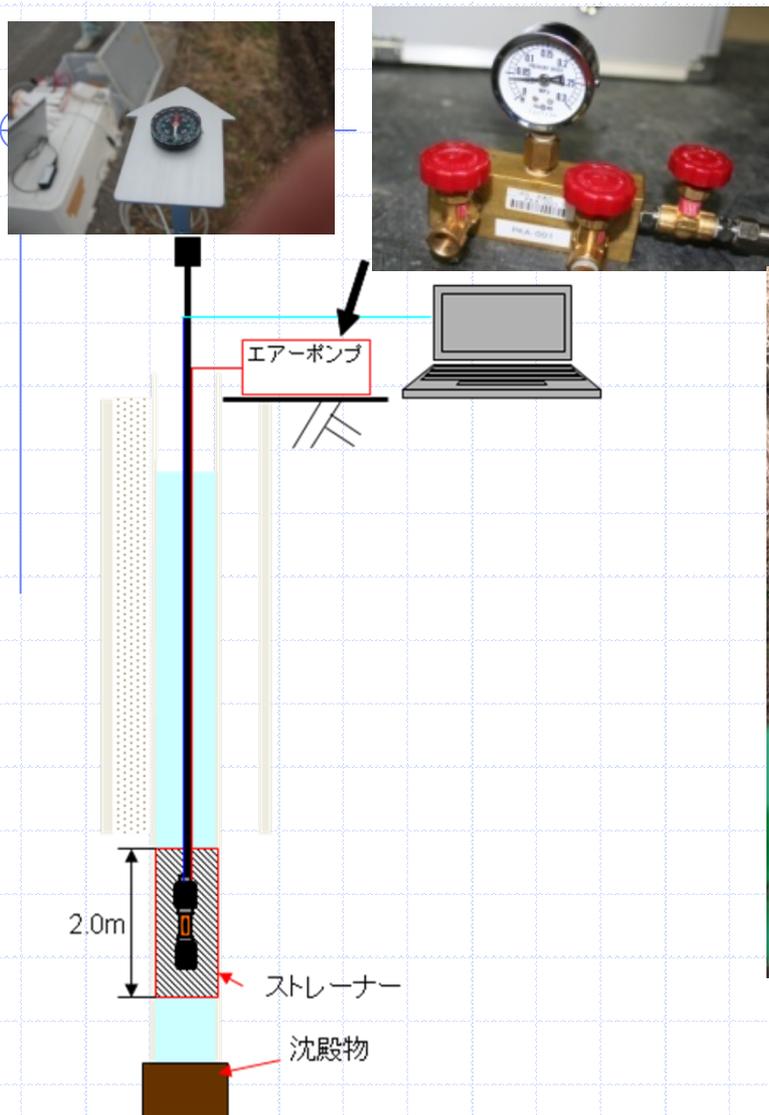
分析項目	単位	分析方法	久保田 地区1	今年の 久保田 地区1	嘉瀬 地区	今年の 嘉瀬 地区
Na <sup>+</sup>	mg/L	JIS K 0102 48.2	2100	1600	4600	4700
K <sup>+</sup>	mg/L	JIS K 0102 49.2	61	52	160	190
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	JIS K 0102 50.2	92	96	210	190
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	JIS K 0102 51.2	130	120	460	460
Cl <sup>-</sup>	mg/L	河川水質試験方法 (案)45.3.2	3100	3100	9000	8400
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	河川水質試験方法 (案)57.3.3	460	430	1500	1600
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	JIS K 0102 41.3	34	43	250	180



## 2.13 ヘキサダイアグラムによる検討

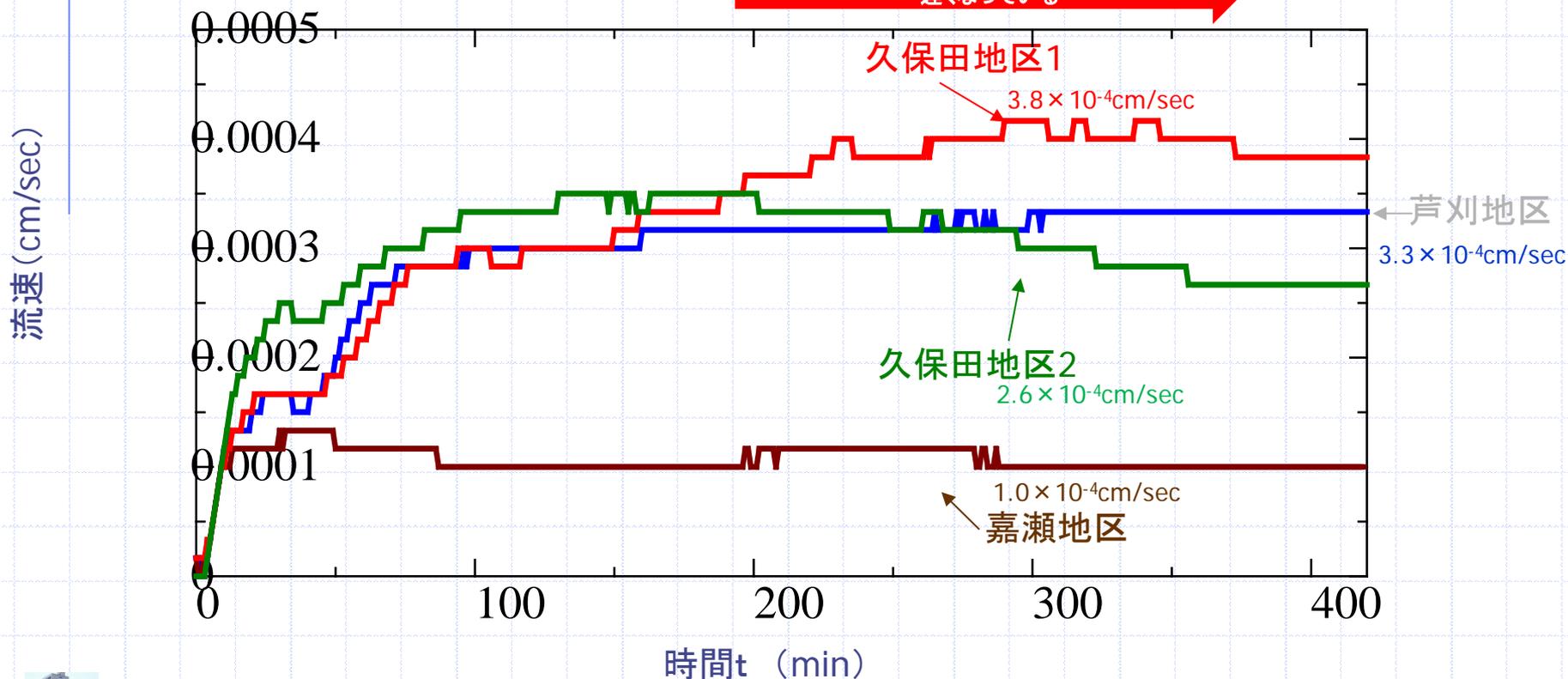


## 2.14 流向・流速の計測状況

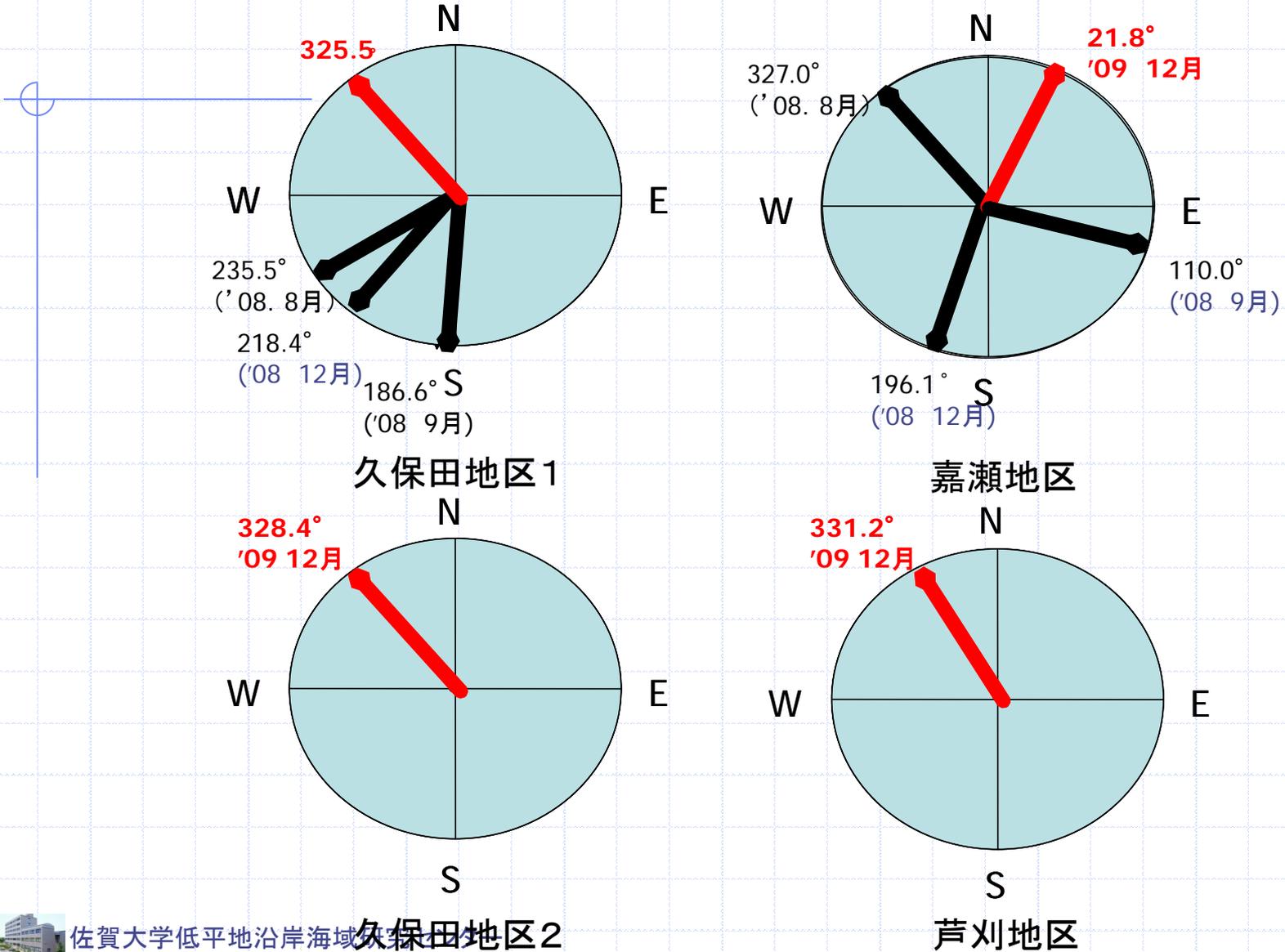


## 2.15 流速の計測結果

場所/日付	08. 8月	08. 9月	08. 12月	09. 3月	09. 12月
久保田地区1 (cm/sec)	$4.0 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$	$3.0 \times 10^{-4}$	-	$3.8 \times 10^{-4}$
変化は少ない					
嘉瀬地区 (cm/sec)	$4.1 \times 10^{-3}$	-	$1.0 \times 10^{-3}$	$3.6 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-4}$
遅くなっている					



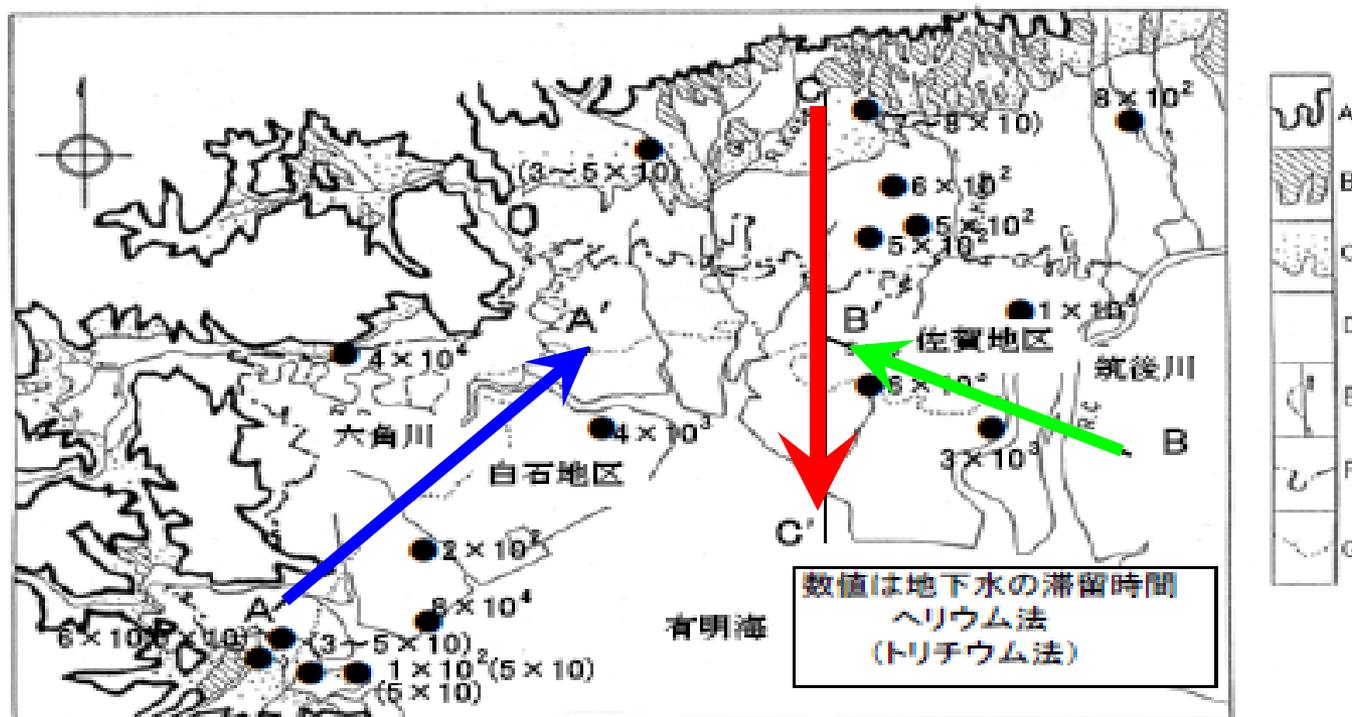
## 2.16 流向の計測結果



## 2.17 流向計測結果の平面図へのプロット



## 2.18 地下水の流向に関する既往の研究(八谷ら, 2000)



A:山地 B:洪積段丘 C:沖積扇状地 D:沖積三角洲  
E:感潮域上限と旧河道 F:平均満潮面 G:1600年の海岸線



### 3. 地球温暖化に伴う海水面上昇が地下の既設構造物 (特にセメント・石灰系改良体)に及ぼす影響



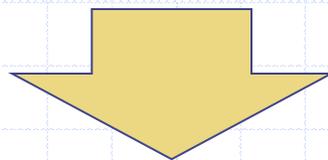
## 3.1 河川堤防堤体からの漏水

河川堤防からの漏水(原・林・末次ら, 2009)

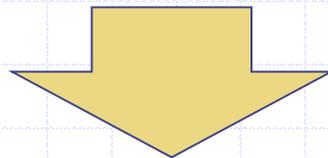


## 3.2 研究の背景

我が国の臨海軟弱低平地域では  
化学的地盤改良を余儀なくされてきた



地盤環境の変遷に伴う化学的地盤改良土の長期  
強度変化が問題にされている

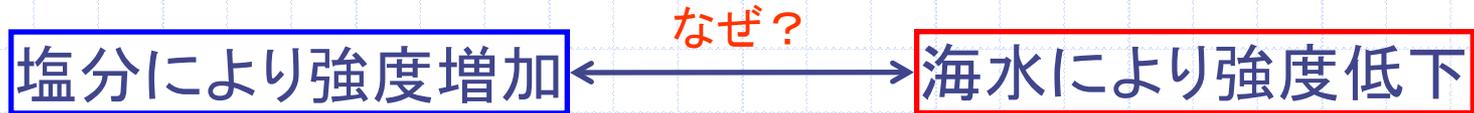


長期耐久性に関する様々な研究が実施



### 3.3 既往の研究

#### ■ 生石灰による改良において



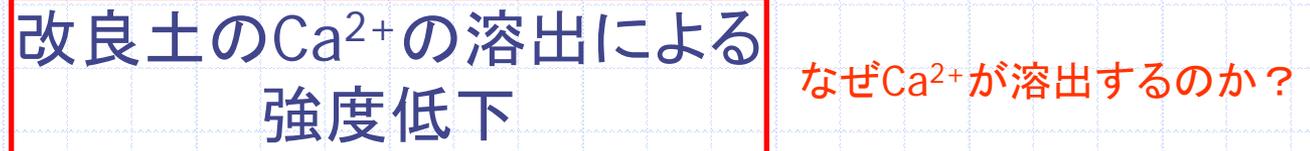
#### ■ 改良土に対する環境の影響



#### ■ 強度低下の影響要因



#### ■ 強度低下の要因



混沌とした状況



## 3.4 研究の目的

混沌とした状況

原因

改良土の強度増加および強度低下の  
メカニズムが未だ曖昧

石灰系・セメント系固化材を用いた改良土の  
初期強度発現過程における強度変化の  
基礎的知見を得ることを目的とした

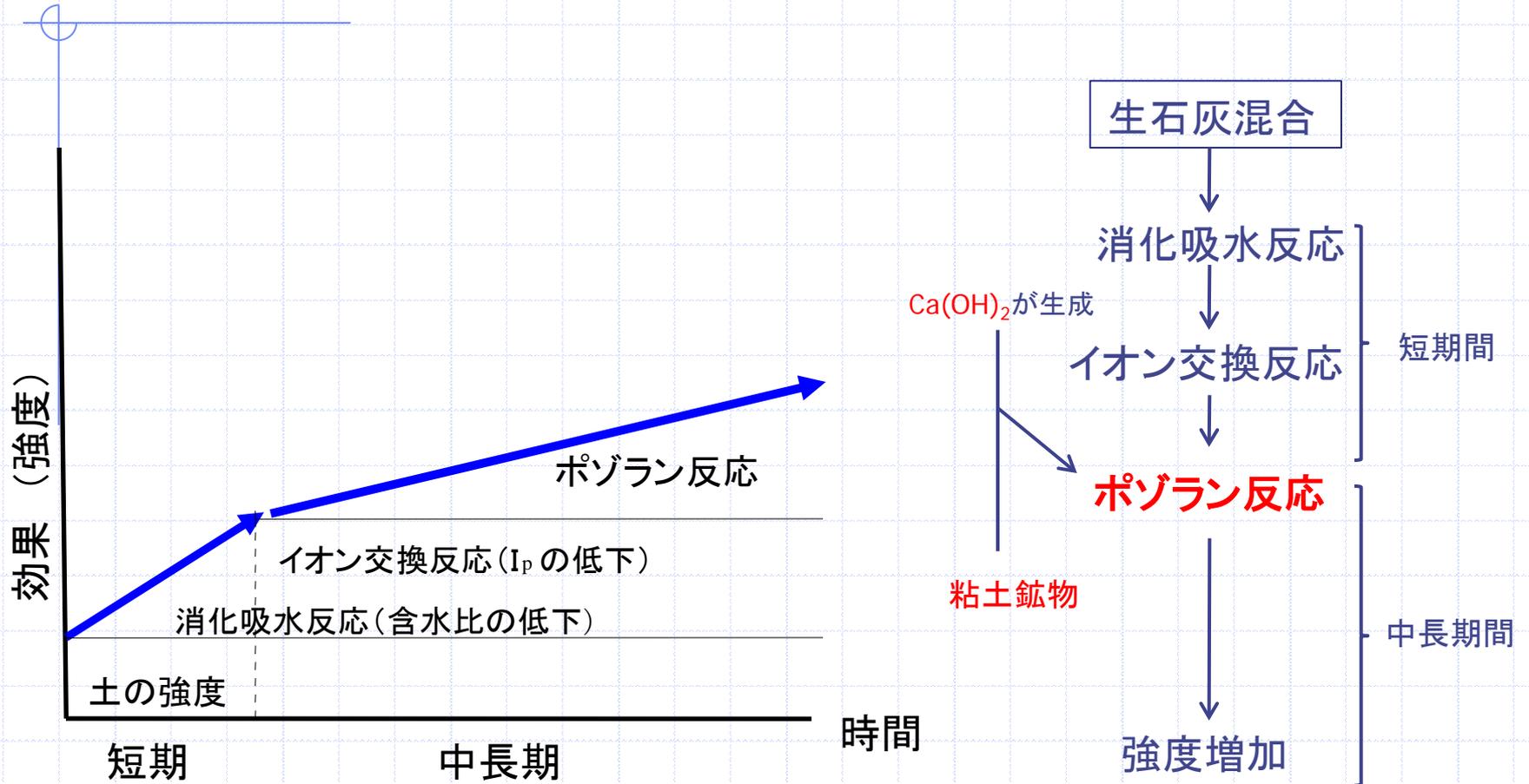
本研究において

強度特性・溶出特性の検討



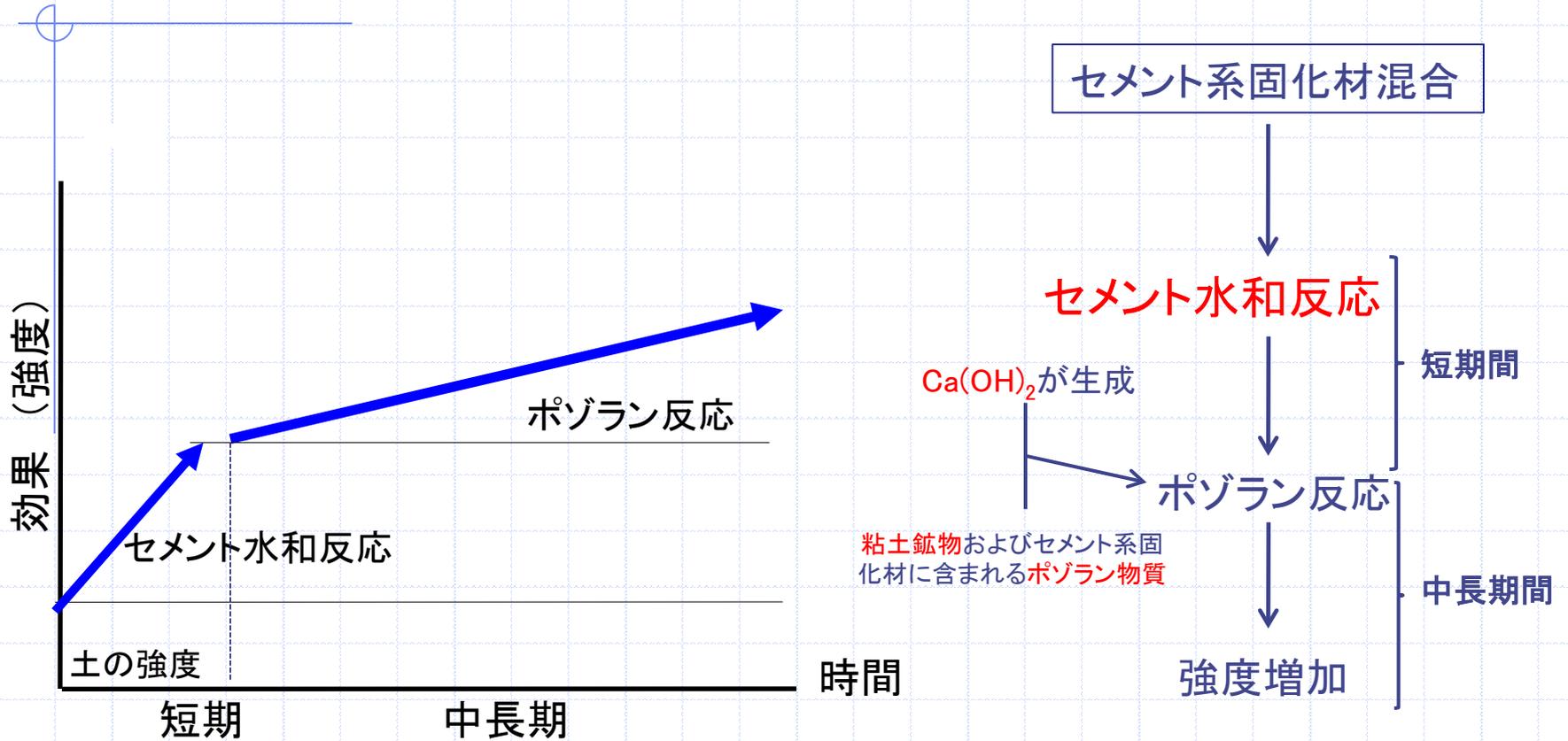
## 3.5 化学的地盤改良のメカニズム

### 3.5.1 既往の生石灰による改良メカニズム



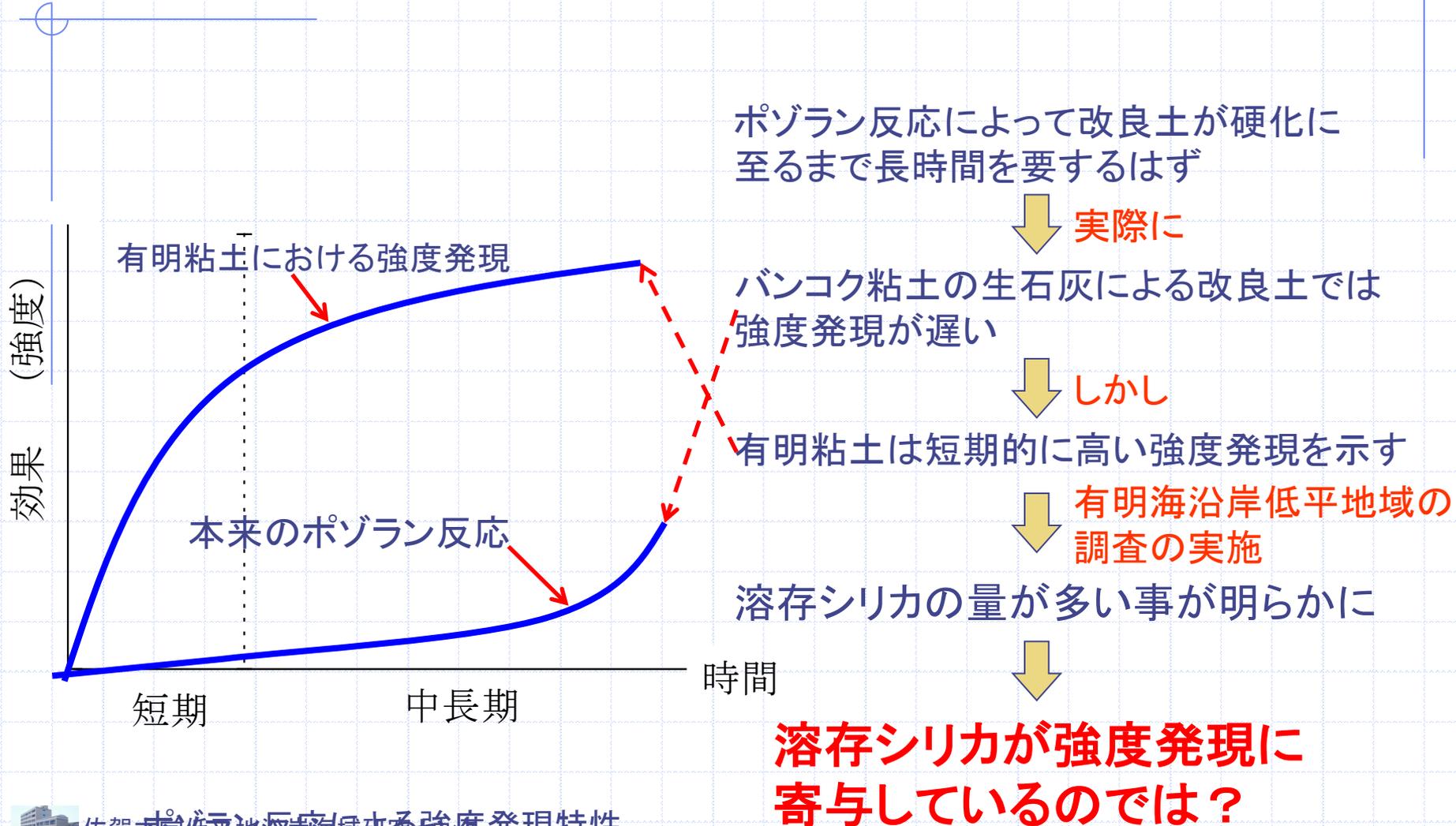
## 3.5 化学的地盤改良のメカニズム

### 3.5.2 既往のセメント系固化材による改良メカニズム



### 3.6 ポズラン反応とは？

・ポズラン反応とは、粘土鉱物中の成分の一つであるシリカ( $\text{SiO}_2$ )やアルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )が溶解することにより、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と化学的に結合し、水和物を生成することで長期的に強度増加を示すこと。



## 3.7 シリカとは？

・シリカは晶質シリカ、非晶質シリカ、溶存シリカの3種類に分けられる。

**晶質シリカ**: 粘土鉱物の中に含まれているシリカのこと

← 本来のポゾラン反応に寄与するとされるシリカ

**非晶質シリカ**: 火山ガラスや珪藻遺骸などのこと

← 有明粘土に多いとされているシリカ

**溶存シリカ**: 水に溶けているシリカのことであり、  
珪藻類の骨格の主成分

晶質シリカ  
非晶質シリカ

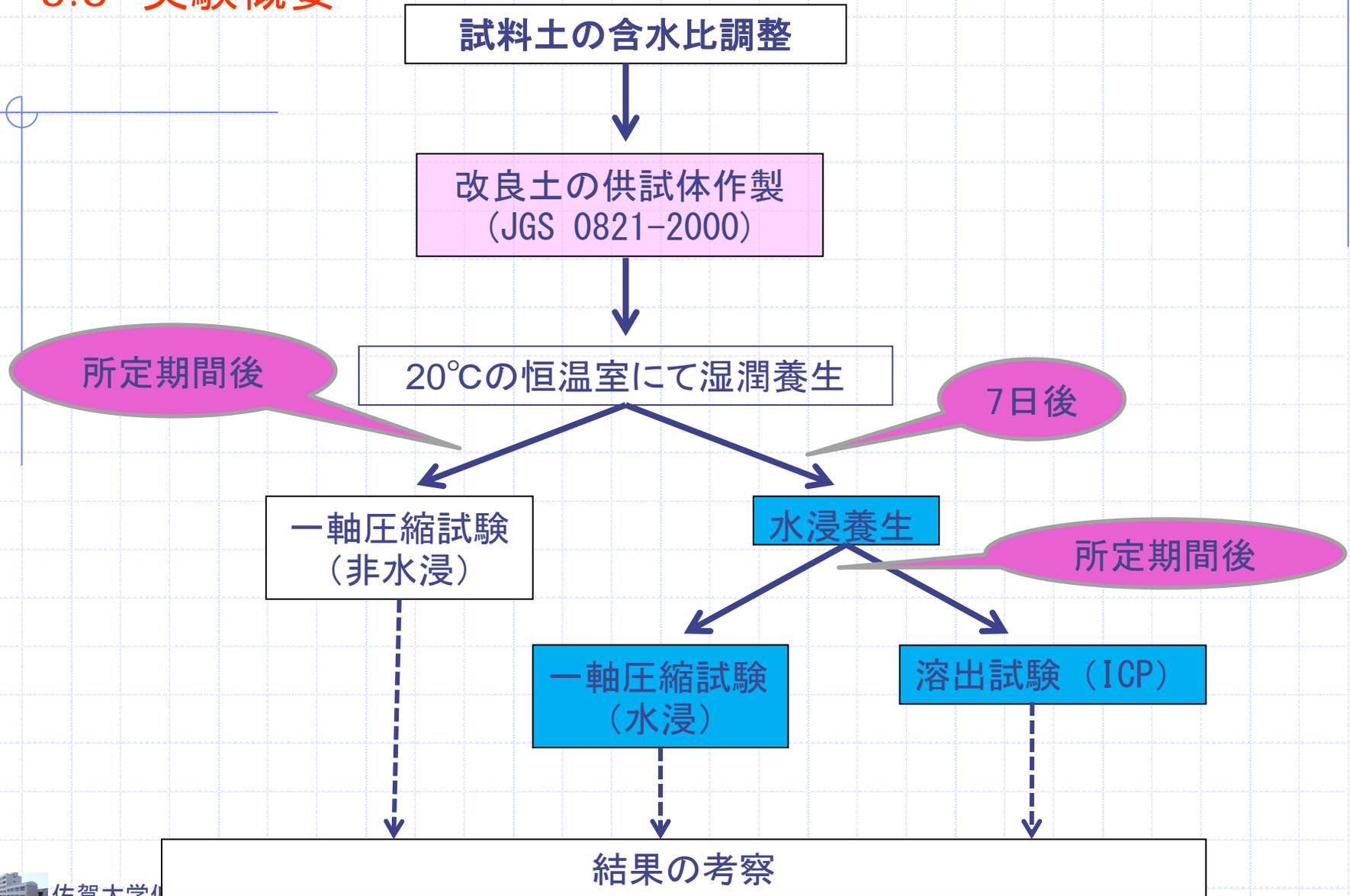
水に溶解した場合

溶存シリカ

結晶度の低い非晶質シリカの方が水に溶解し易い (西田, 1995)



### 3.8 実験概要



### 3.9 試料土および改良材

試料		カオリン
含水比調整液	蒸留純水	ケイ酸ナトリウム水溶液 (濃度67.5g/L)
含水比(%)	75	70.5
本研究における名称	純水試料	シリカ含有試料

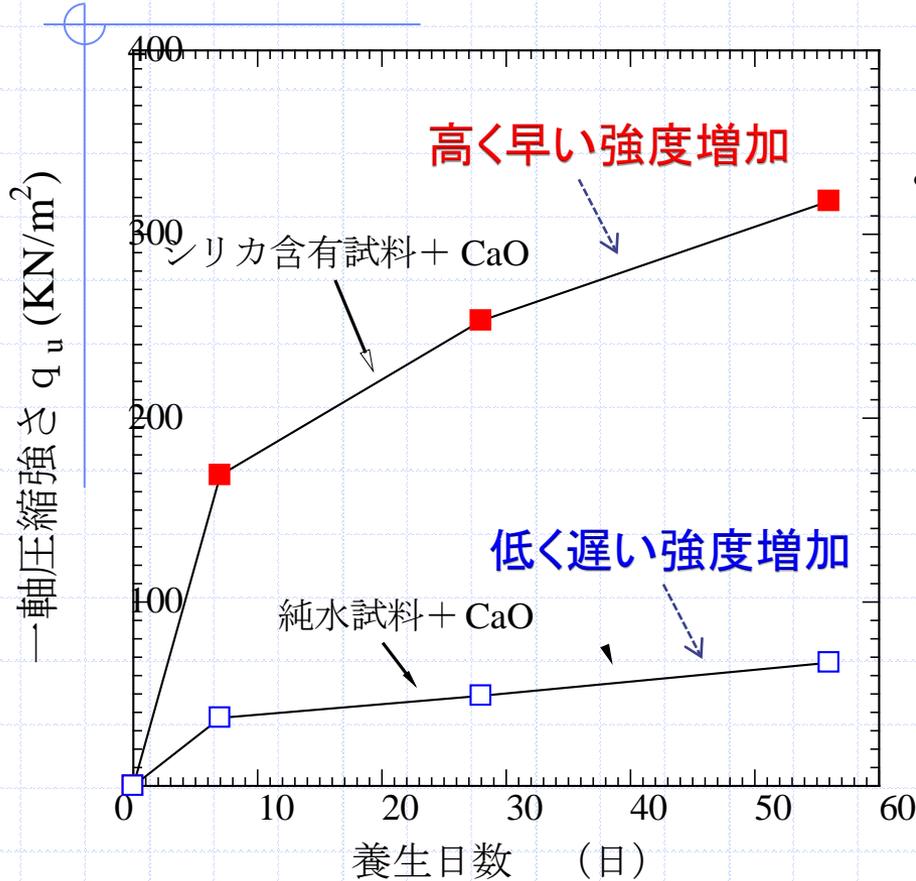
粘土鉱物のシリカ

粘土鉱物のシリカ  
溶解したシリカ

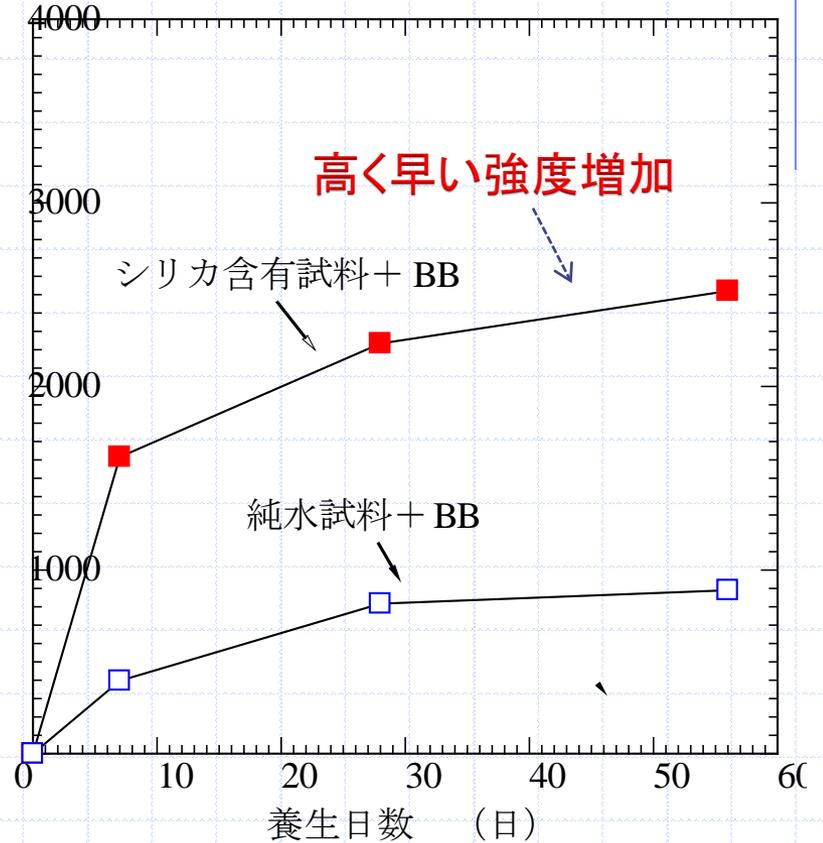
改良材の種類	生石灰	高炉セメントB種
添加量(kg/m <sup>3</sup> )	100	150
本研究における名称	CaO	BB



### 3.10 非水浸時の一軸圧縮試験結果



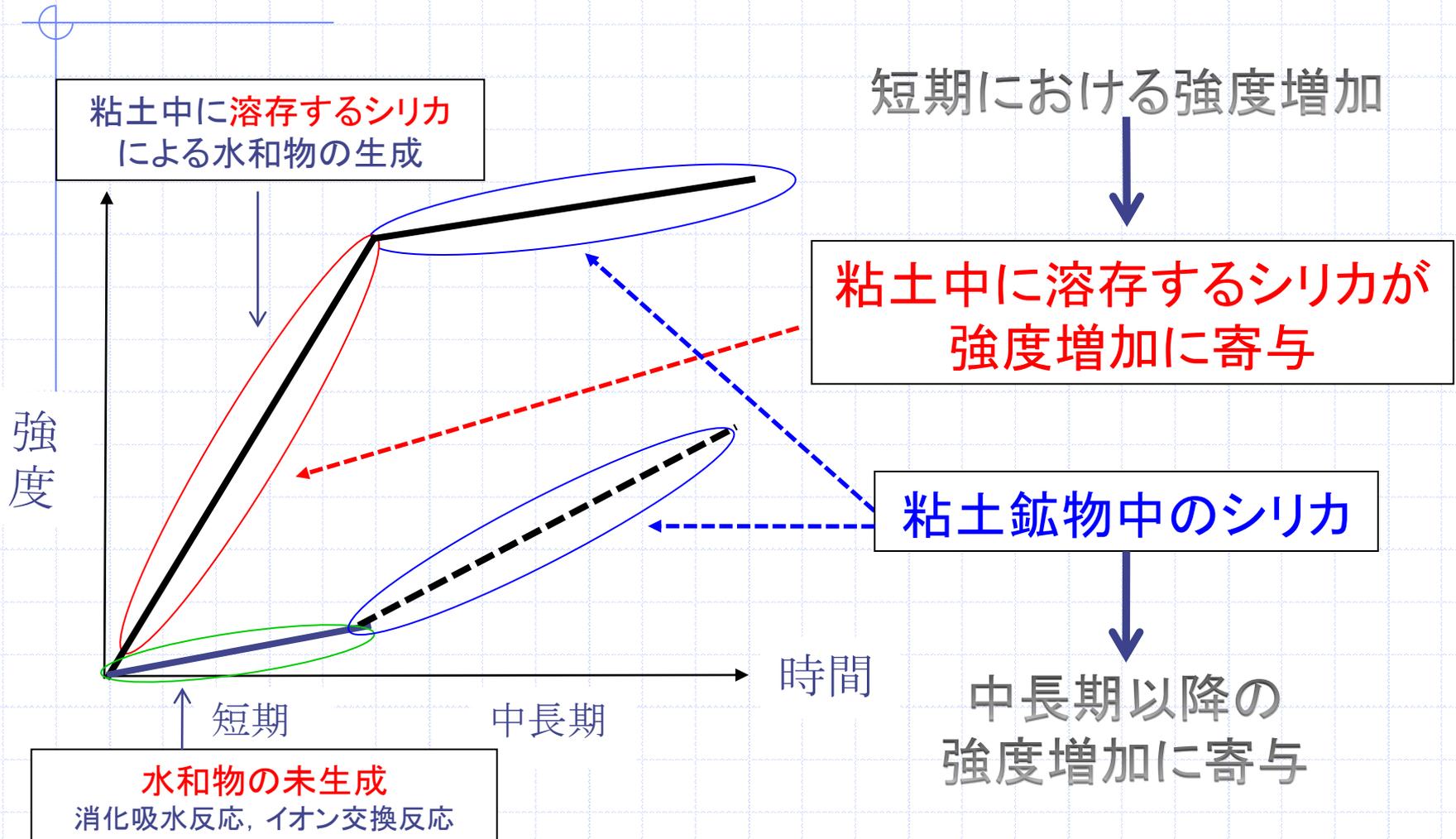
CaO添加



BB添加



### 3.11 強度増加のメカニズム



## 3.12 水浸時の強度特性および溶出特性

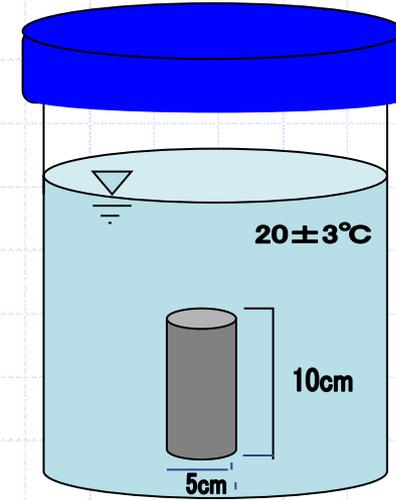
**養生** ……20℃恒温室にて7日間湿潤養生

**水浸方法** ……供試体:溶液 = 1:10

**水浸溶液** ……蒸留水, 海水(30g/L), 希硫酸(0.01N)

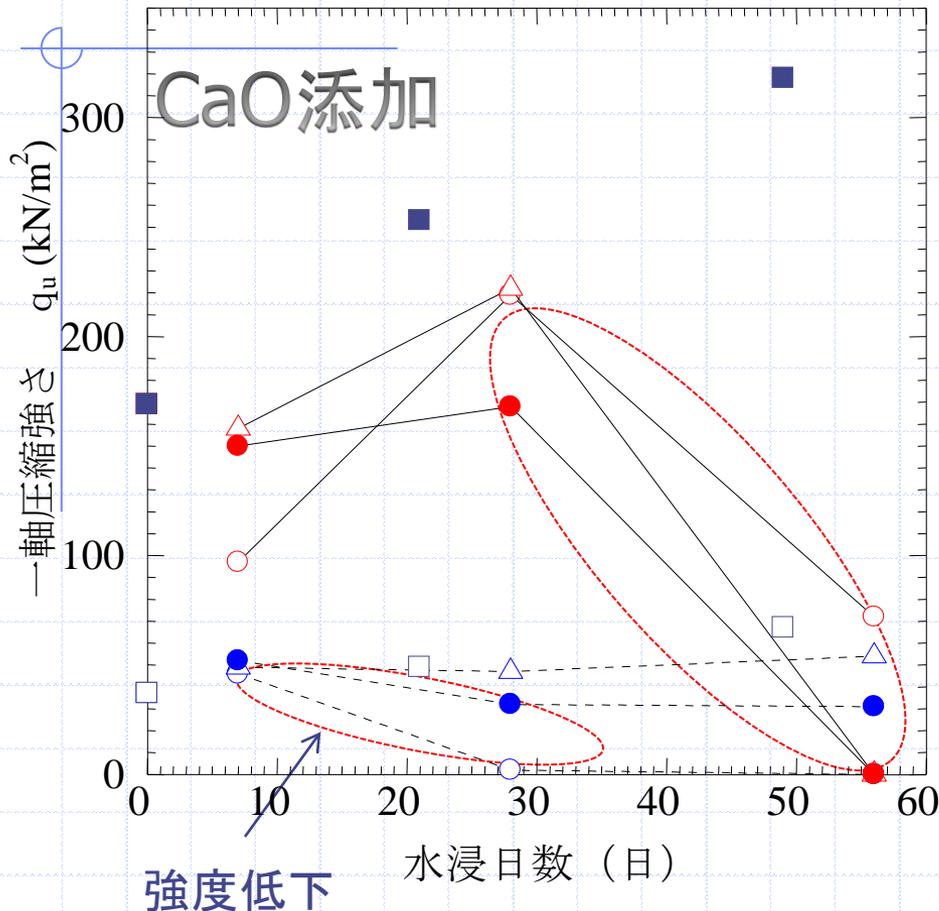
**水浸日数** ……7日, 28日, 56日 } 一軸圧縮試験

溶出試験(ICP分析)



## 3.13 水浸時の一軸圧縮試験結果

### 3.13.1 生石灰(CaO)添加の場合



純水試料にCaOを添加した場合

- ・水浸7日以降強度低下

シリカ含有試料にCaOを添加した場合

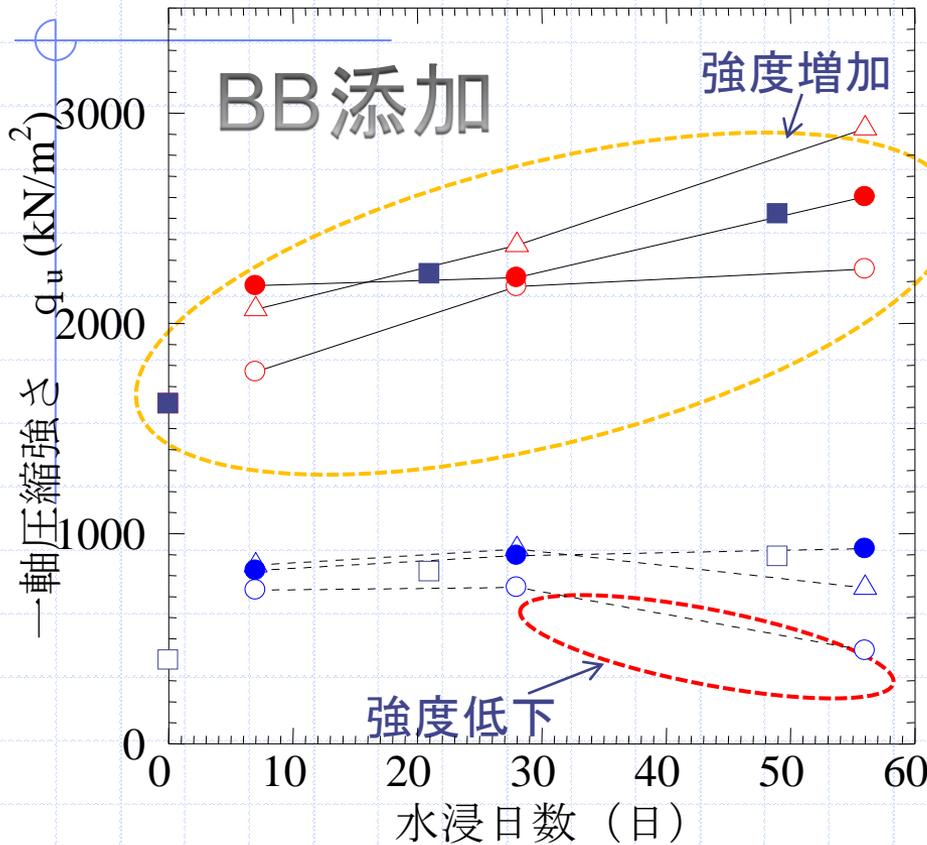
- ・水浸28日まで強度増加
- ・水浸28日以降強度低下

	蒸留水	海水	希硫酸	非水浸
シリカ含有試料	△	○	●	■
純水試料	△	○	●	□



### 3.13 水浸時の一軸圧縮試験結果

#### 3.13.2 高炉セメントB種(BB)添加の場合



シリカ含有試料にBBを添加した場合

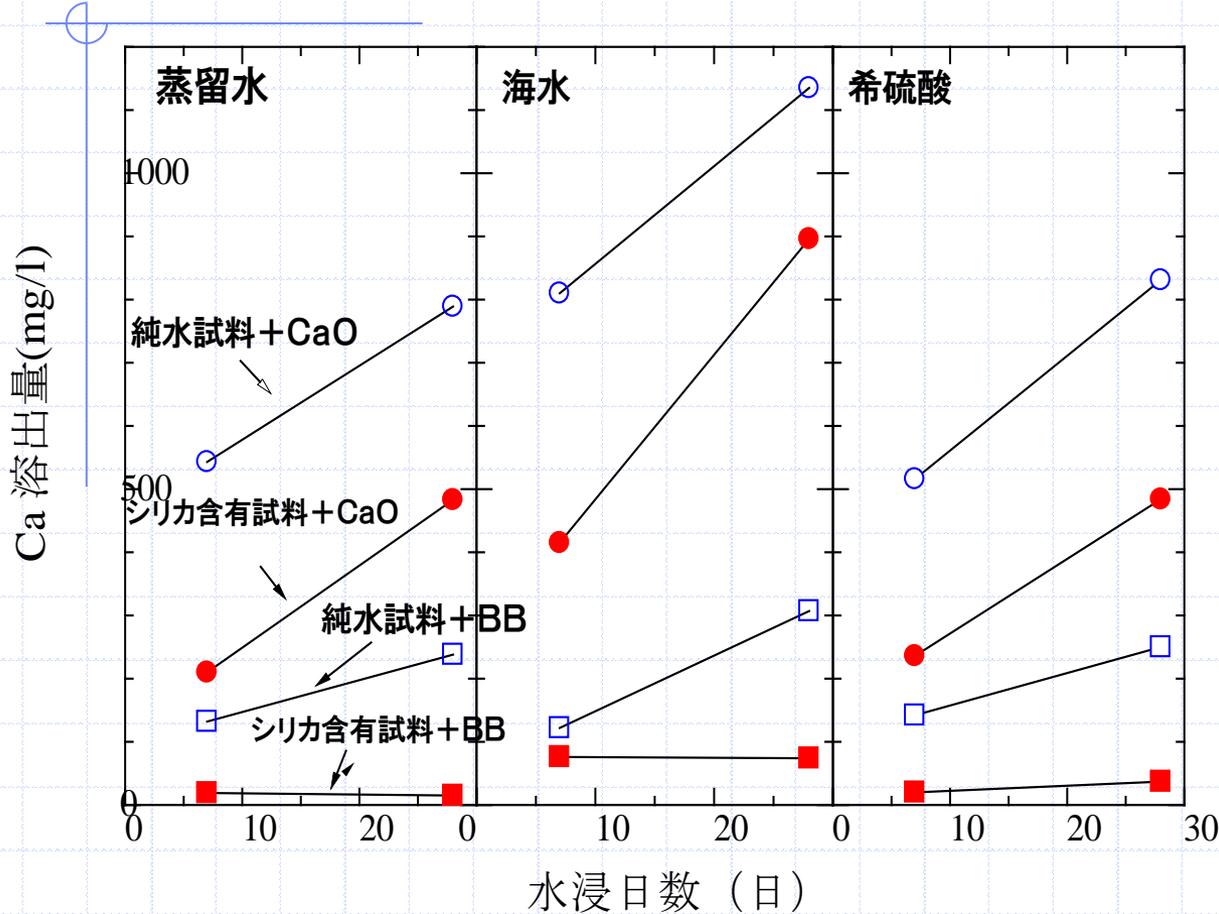
- ・水浸56日まで強度増加

純水試料にBBを添加した場合

- ・水浸28日まで強度増加
- ・水浸28日以降、海水水浸の改良土のみ強度低下

	蒸留水	海水	希硫酸	非水浸
シリカ含有試料	△	○	●	■
純水試料	△	○	●	□

## 3.14 溶出試験結果



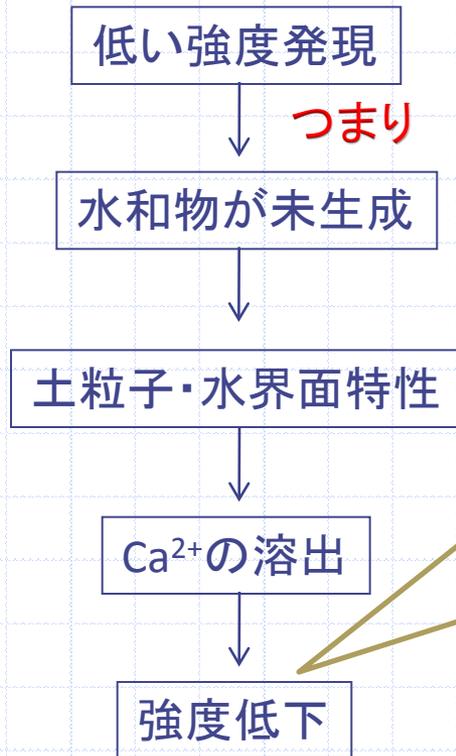
・強度の低い改良土ほど  
Ca<sup>2+</sup>の溶出量が多い

・海水水浸による改良土からの  
Ca<sup>2+</sup>の溶出量は他の溶液に  
比べ多い



## 3.15 水浸による強度低下のメカニズム

### 3.15.1 低い強度発現後の強度低下

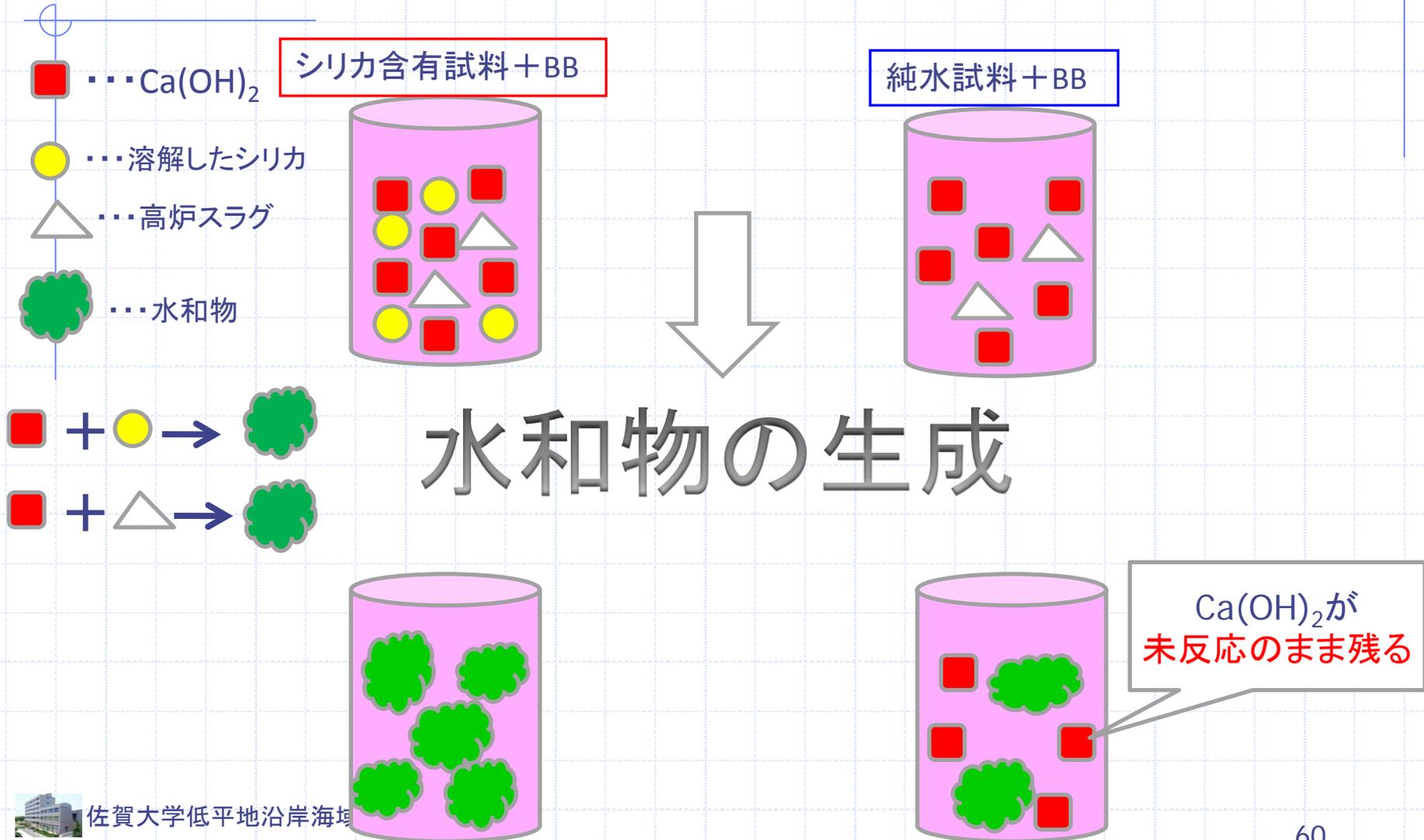


しかし  
当該結果は固化の目的を担う  
地盤改良の観点からは**不適合**  
配合に仕分けられるものであり、  
実際には改良材を変更する  
などの措置が図られる



## 3.15 水浸による強度低下のメカニズム

### 3.15.2 高い強度発現後の強度低下



# 3.15 水浸による強度低下のメカニズム

## 3.15.3 海水環境下における強度低下

