

# 西海岸における下水処理水の有効利用

日時：平成25年10月3日、午後6時～8時

場所：日本技術士会 近畿本部会議室

内田 信一郎

株式会社 新洲 技師長

(元大阪市下水道局、元日本下水道事業団、  
元日新技術コンサルタント)

# 目次

## 第1章. CA州南部沿岸3郡地域の特徴

第1節 降水量と気温

第2節 面積と人口

第3節 水資源の地域的格差

## 第2章. 「CA州下水処理水の有効利用調査(2009年度)」

第1節 概要

第2節 調査結果

## 第3章. オレンジ郡水道組合(OCWD)での有効利用実態

第1節 概要

第2節 地下水涵養水源

第3節 地下水涵養施設(GWRS)

第4節 地下水取水量と水道水需要量

第5節 地下帯水層の水量及び水質の保全

## 第4章 CA州での海水の淡水化事業

第1節 概要

第2節 目的

第3節 海水淡水化計画

## 第5章 まとめ

第1節 カリフォルニア州の処理水有効利用調査

第2節 OCWDでの下水高度処理水の有効利用

第3節 課題とその応用

# 第1章. カリフォルニア州南部沿岸3郡地域の特徴

## 第1節 降水量と気温

- ① 地中海式気候で夏は涼しく、冬は暖かい(日本の四季変化に乏しい)。
- ② 年間降雨量は**330~370mm**で、湿度は低い。
- ③ 降雨は11月から翌3月に集中して降る。多い時は100mm/月で道路冠水が多発する。その他シーズンは乾季で寡雨。
- ④ 分流式下水道雨天時流入下水量が晴天時の2~3倍となる。

## 第2節 面積と人口

- ① カリフォルニア州全人口の**約3750万人(カナダより多い)**の内、南部3郡に**約1600万人**。その都市圏(6郡)では**約2000万人**。
- ② CA州面積の**約6%**の3郡地域に、州人口の**約43%**が集中。
- ③ CA州の人口は過去100年間で240万人が3750万人に増加。

## 第3節 水資源の地域的格差

- ① CA州の全水資源量は地球温暖化で**降雪量**が減少して微減。
- ② 人口増加に対応できる地域的水資源量の格差が拡大。  
南部地域は人口比率に対して圧倒的に水資源が不足。  
遠方よりの**導水量が削減**され、**地産地消及び自給自足**の対策が必要。

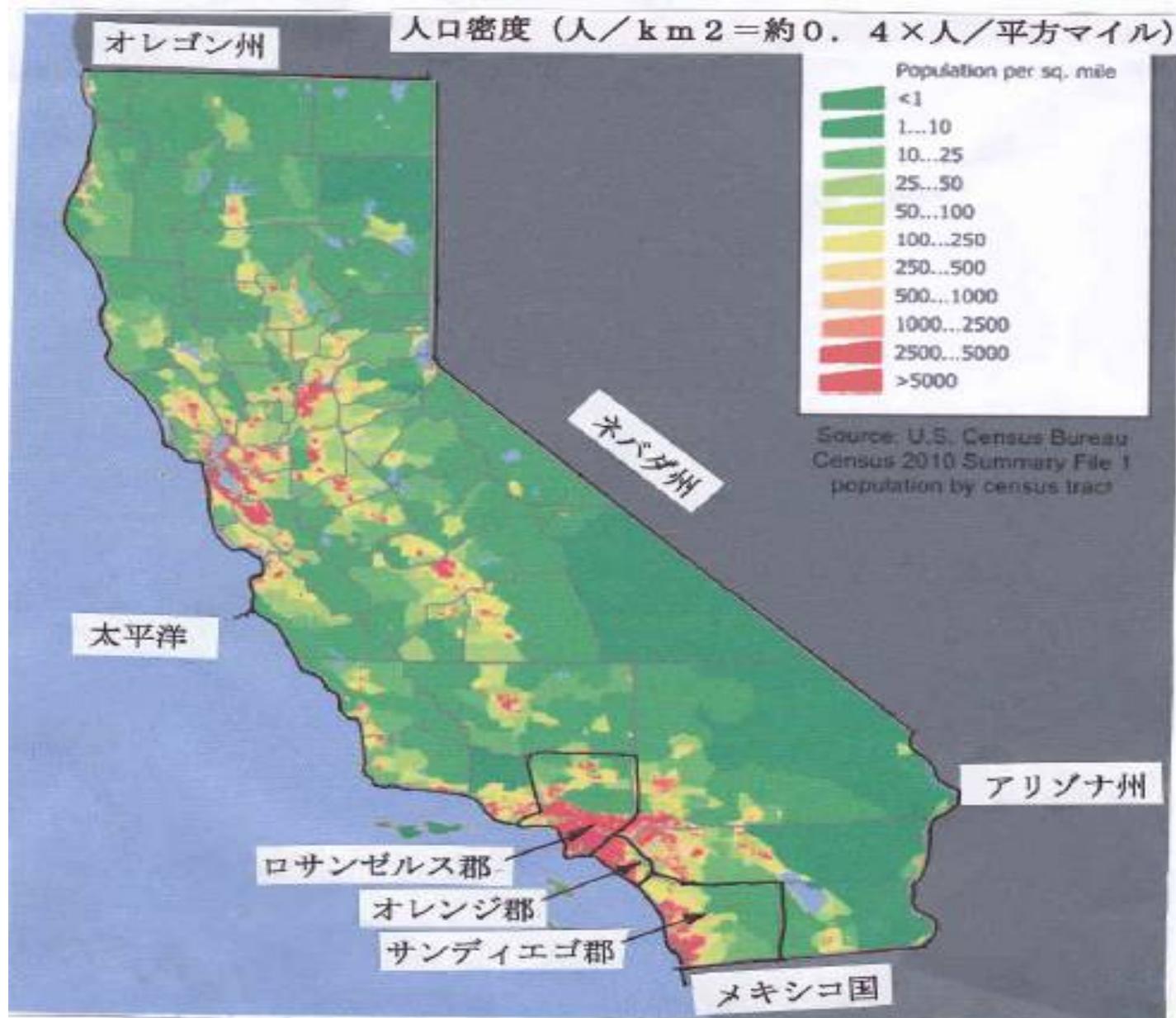
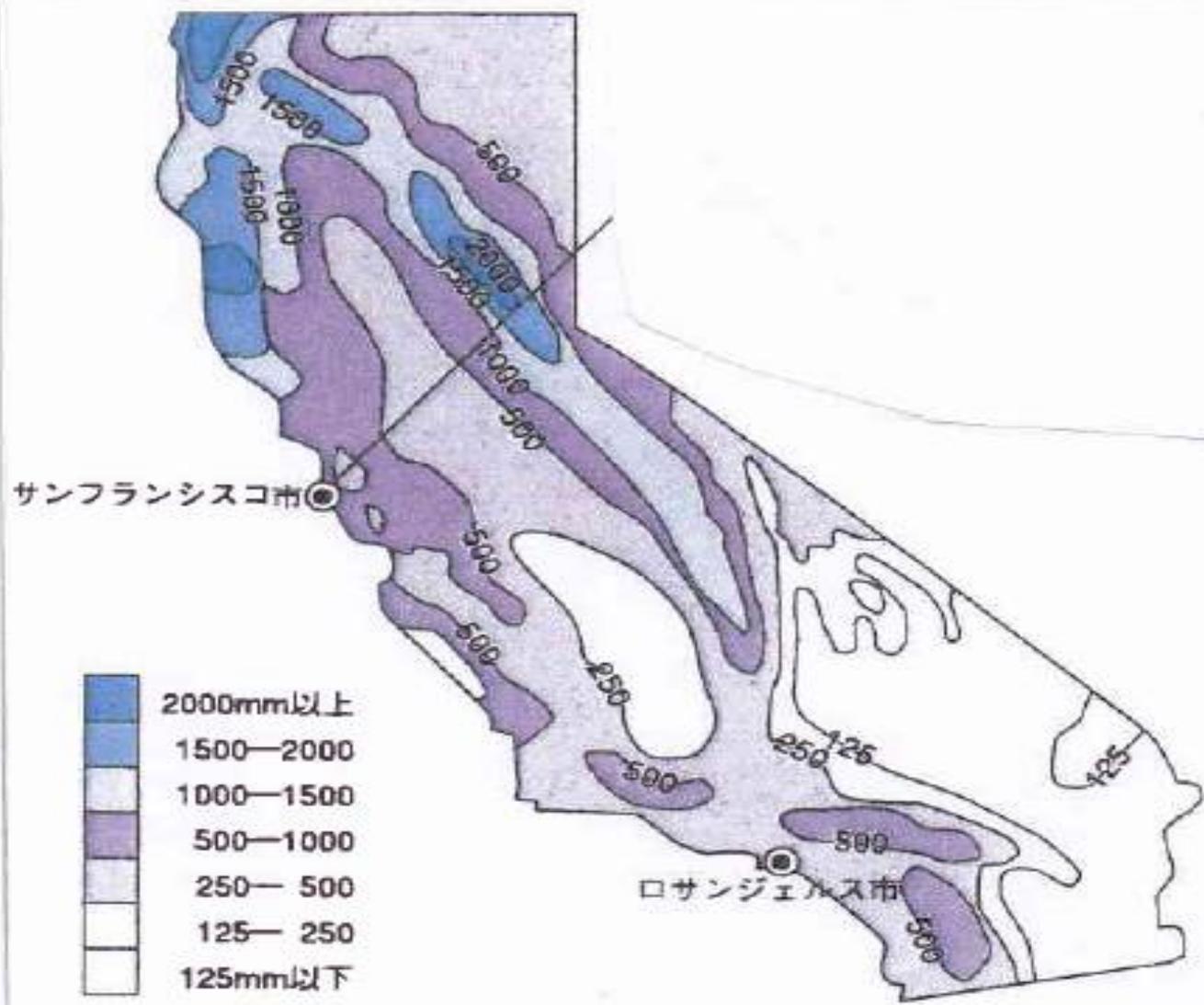


図-1: カリフォルニア州と3郡の位置



資料：1) 藤山達郎「転機に立つカリフォルニア農業と米作」、1993年（地球社）  
 2) 気象庁「世界気候表（1961～1990）」、1994年

図-4： カリフォルニア州の降雨量分布図

カリフォルニア州の水開発事業



図-5 : 長距離導水路の位置

## 第2章 CA州の処理水有効利用調査(2009年)

### 第1節 概要

- 1) 調査機関等: CA州水資源局等
- 2) 調査目的: CA州水資源戦略計画持続性の確認
- 3) 有効利用の定義: 意図した有効利用に限定

### 第2節 調査結果

- 1) 下水処理水の有効利用水量: 約223万m<sup>3</sup>/日
- 2) 有効利用先の御三家: 農業用水、景観用水、地下水涵養
- 3) 3次処理水の有効利用先: 農業用水、景観用水、工業用水
- 4) 高度処理水の有効利用先: 地下水涵養、海水侵入防止

高度な工業用水を必要とする企業の場合にはRO膜ろ過法等の高度処理が行われて給水している。

- 以下に述べる全てのm<sup>3</sup>/日(換算量)の数字は年間量を365で割って理解しやすい数字にしたものである。

## 第1節 概要

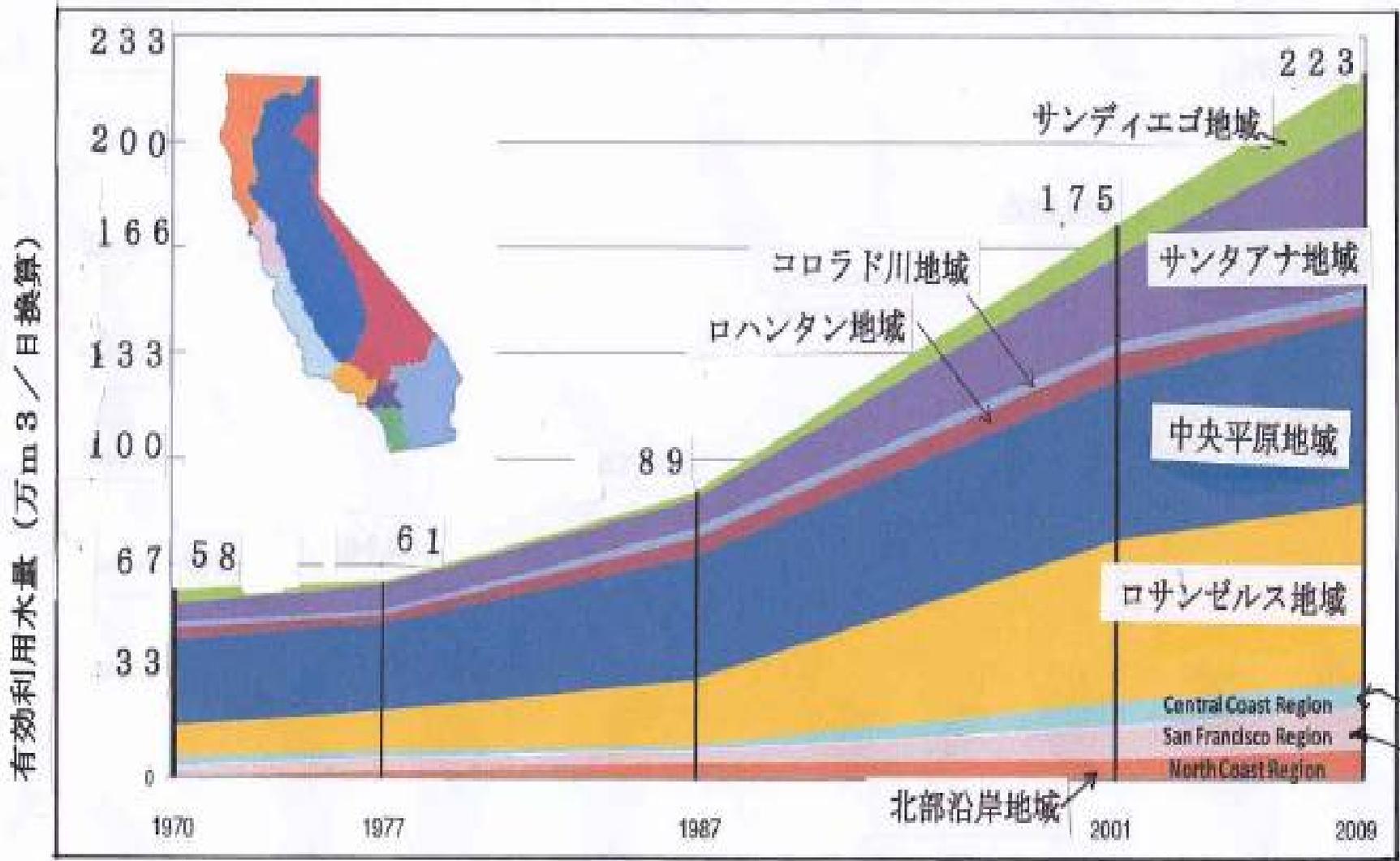
- 1) 調査機関: CA州の水資源管理局と水資源管理委員会
- 2) 調査対象: 各自治体及び企業。
- 3) 調査頻度: 10年前後に1回
- 4) 目的: CA州の水資源に関する戦略的計画が将来的にも持続可能な計画であることを実証するための実態把握調査。
  - 2030年度の再生水有効利用計画量は約843万m<sup>3</sup>/日。
- 5) 再生水の有効利用の定義: 意図した有効利用。
  - 非飲料用水として企業・自治体に直接供給されるもの、
  - 海水侵入防止用水
  - 地下水涵養用水、
- 6) 再生水有効利用対象にならない再利用水の方野。
  - 河川に放流する河川維持用水、
  - 地下水涵養に無関係な池等に放流するもの、
  - 原野に散水するもの、
  - 処理場内で利用する雑用水、
- 7) 調査時の留意点: 有効利用水量が再利用先で重複しないこと

## (参考) アメリカでの下水処理レベルの考え方

- **1次処理:** 沈殿処理法。
- **見做し2次処理:** 流入下水の凝集沈殿処理法。  
(分流式下水道雨天時越流汚濁対策の1つの処理法)
- **2次処理:** 活性汚泥処理法  
(生物学的に窒素及びリンを同時除去する各種の嫌気好気無酸素法、MBR等含む)
- **3次処理:** 2次処理水の凝集沈殿・砂ろ過処理法。  
(この処理水は高度な処理水質を要求する工業用水には不適切)
- **高度処理:** 3次処理水のMF膜・RO膜ろ過処理法。  
(消毒後の高度処理水は直接飲料可能な水質)

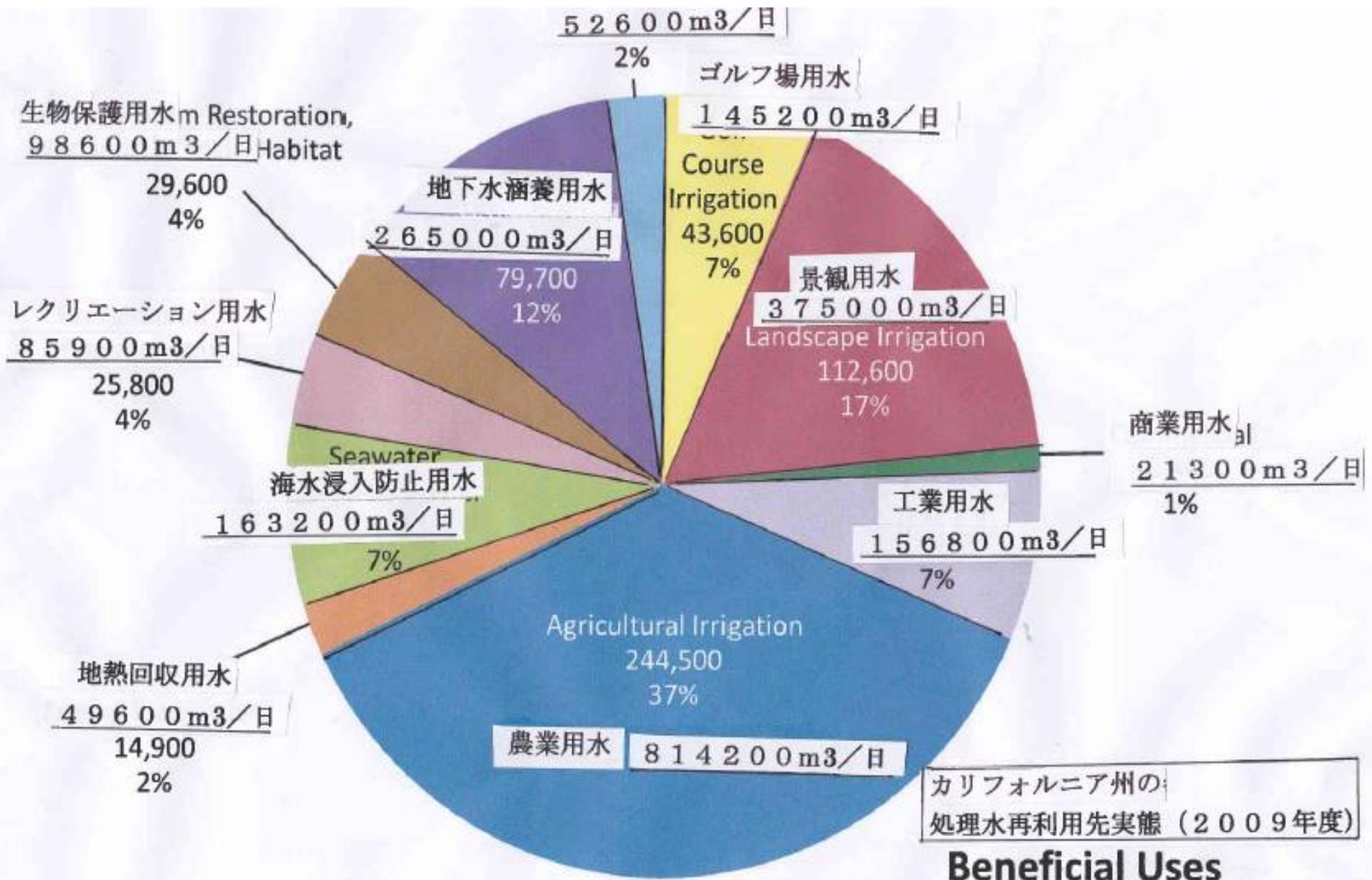
## 第2節 2009年度の調査結果

- ・ 調査した自治体・公的機関等： **約210か所**。
  - ・ カリフォルニア州での有効利用処理水量： **約223万m<sup>3</sup>／日換算量**。
  - ・ 有効利用率： **約17%**（日本は2008年度で**約1.4%**）
  - ・ **3次処理水**の有効利用先： **農業用水、景観用水、工業用水及びゴルフ場散水用水**。
  - ・ **高度処理水**の有効利用先： **地下水涵養水、海水侵入防止用水及び工業用水（高度な水質を要求する企業へ）**。
  - ・ 有効利用のための送水ポンプ、送水管、貯留槽等あり。
- 中央大平原の穀倉地域では肥料成分が地表に沈積して白土化した状況が飛行機からよく見える。この地域では農業生産量が減少する。



カリフォルニア州各地域、年度別処理水の有効利用水量

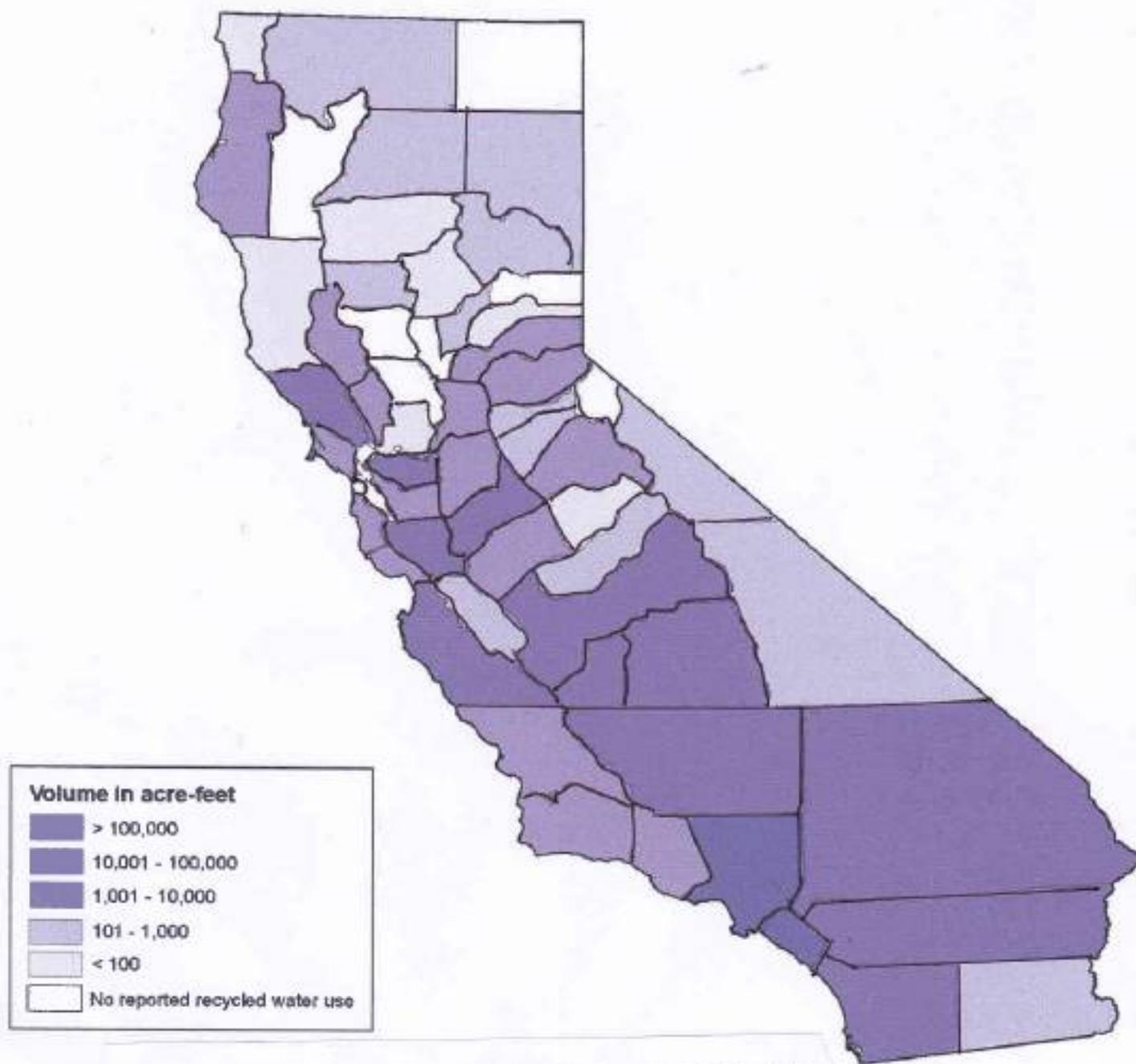
中央沿岸地域  
サンフランシスコ地域



カリフォルニア州の  
処理水再利用先実態 (2009年度)

### Beneficial Uses of Municipal Recycled Water in the 2009 Survey

約230万m³/日  
2009 total: 669,000 acre-feet



カリフォルニア州の郡別処理水の再利用水量

表-2 カリフォルニア州での再生水有効利用実態と計画

年度	実績 (万m <sup>3</sup> /日)	戦略計画 (万m <sup>3</sup> /日)	目標値 (万m <sup>3</sup> /日)
1970	58	*	*
1977	61	*	*
1987	89	*	*
2001	175	233	*
2009	223	*	*
2010	*	332	*
2015	*	416	*
2020	*	499	289
2030	*	843	389

表-1 カリフォルニア州における処理水の有効利用状況の傾向（単位：m<sup>3</sup>/日）

再利用先区分	調査年度					2009(比率：%)
	1970	1977	1987	2001	2009(比率：%)	
農業用水	374000	394000	559000	802000	814000	37
景観用水	59000	68000	117000	370000	520000	24
工業用水	34000	40000	20000	93000	178000	8
地熱回収用水	*	*	*	7000	50000	2
海水浸入防止用水	*	*	*	85000	163000	7
レクリエーション用水	17000	23000	23000	110000	86000	4
野生生物・生態系保護用水	*	2000	33000	67000	99000	4
地下水涵養用水	99000	87000	128000	163000	265000	12
その他	400	10	7000	51000	53000	2
<b>合計</b>	<b>583000</b>	<b>613000</b>	<b>888000</b>	<b>1750000</b>	<b>2230000</b>	

表-3 カリフォルニア州における2009年度の再生水有効利用実態

再利用目的	再利用量(千m <sup>3</sup> /日)	比率(%)
① ゴルフ場散水用水	145	7
② 景観用水	375	17
③ 農業用水	814	37
④ 商業用水	21	1
⑤ 工業用水	157	7
⑥ 地熱発電用水	50	2
⑦ 海水浸入防止用水	163	7
⑧ 地下水涵養用水	265	12
⑨ リクレーション池等放流用水	86	4
⑩ 生態系保全用水	99	4
⑪ その他	52	2
合計	2230	100

表－４（２） カリフォルニア州各自治体等の２００９年度分野別トップテンの処理水有効利用水量（m<sup>3</sup>／日）

自治体等の名称	再利用 全水量	各分野別トップ３の有効利用水量
1) ロサンゼルス郡	287000	①地下水涵養：142000、②農業用水：53000、③景観用水：38000、
2) オレンジ郡水道 組合	225000	①海水浸入防止：125000、②地下水涵養：92000、景観用水：38000、
3) ロサンゼルス市	224000	①商工業用水：87000、②レクリエーション用水：66000、③海水浸入防止：29000、
4) ベーカフィールド 市	115000	①農業用水：115000、
5) イースタン都市 水道組合	109000	①農業用水：76000、②レクリエーション用水：10000、③ゴルフ散水：9000
6) フレズノ灌漑組 合	94000	①農業用水：94000、
7) インランドエンパ イア水道組合	74000	①農業用水：32000、②景観用水：17000、③地下水涵養：15000、
8) アーバンランチ 水道組合	64000	①景観用水：49000、②ゴルフ場散水：8000、農業用水：6000、
9) サンタローザ市	64000	①地熱発電用水：46000、②農業用水：17000、ゴルフ場散水：600、
10) ツラーレ市	47000	①農業用水：47000、
11) サンディエゴ市	36000	①景観用水：14000、②工業用水：9000、③その他：7000

注： 有効利用水量には下水処理場内での雑用水再利用量、河川維持用水等は含まず。

# 第3章. オレンジ郡水道組合(OCWD)の 処理水有効利用

## 第1節 OCWDの概要

- 1) 地下滞水層管理計画(2009年度改正版)
- 2) 特別組織。
- 3) 目的: **地下水涵養水源の確保、地下水の量と質の保全等**

## 第2節 地下水涵養対策

- 1) 概要
- 2) オレンジ郡内の地下滞水層: 浸透性の良い広大な扇状地。
- 3) 地下水涵養方法: 自然浸透と圧力浸透
- 4) 河川敷の浸透施設: 河川水の滞留時間延長作戦
- 5) 深い浸透池施設: リクレーション施設として市民の憩いの場
- 6) プラドダム: 洪水調整池を水道水源池として兼用

### 第3節 GWRS施設(高度処理施設)

- 1) 処理能力: 現在は**約265000m<sup>3</sup>／日**  
将来は約500000m<sup>3</sup>／日
- 2) 処理方法: **MF膜ろ過法、RO膜ろ過法、AOP消毒法**
- 3) 処理原水: 隣接するOCSDの活性汚泥法の2次処理水

### 第4節 地下水取水量と水道水需要量

- 1) 地下水量の推定: モニタリングとコンピュータモデル化
- 2) 飲料水需要量の過去と将来: 新規水資源、節水のPR
- 3) 地下水過剰取水防止対策: 地下水取水と購入水の均衡

### 第5節 地下水(量と質)保全対策

- 1) 限界過剰取水量の考え方
- 2) **地下水の水量・水質のモニタリング**
- 3) 汚染地下水質改善対策: 第1滞水層等の地下水の浄化

## 第1節 OCWDの概要

- ① OCWDの設立、使命、運営
    - CA州議会法： 1933年創設、**サンタアナ川の水利権確保等**、
    - 特別組織： オレンジ郡14市と6水道組合等
    - 給水人口： **約250万人の約70%**、
    - 給水面積： 約927km<sup>2</sup>
    - 自治体と水道企業が取水。MWDが給水事業を主に行う。
  - ② 地下滞水層の経年変化： **2008年度が最悪の地下水位**、
  - ③ 計画内容への市民参加：
  - ④ カリフォルニア州水法とOCWD水規制法の順守：
  - ⑤ 水資源不足に対する市民教育計画： ソフト対応
- 
- RO膜ろ過等の**高度処理水は直接飲料可能**であるが、「**トイレから蛇口へ**」の市民の心理的拒絶反応対応として浸透池から地下水を涵養した後に別な場所でポンプ取水している(これがコスト増大と非効率化を招いていると考える)。

# 1) OCWDの目的

## ① 使命:

環境問題を考慮しつつ信頼性に富み、且つ十分な量の水道水を地域の水道水取水企業に最低限の価格で提供すること。

また、地下滞水層を総合的に管理して、安全で持続可能な水道水供給を確実に行うこと。

## ② 地下滞水層管理の目的:

- 水量・水質の保全。
- コストアップを避けて取水量の持続性保持、
- 地表水と地下水との間の貯留融通性、

## 2) OCWDの地下滞水層の管理計画(2009年度改定)

目的:

- ① **サンタナ川流域の水利権を確保することで、地下滞水層の水量と水質を保全すること。具体には**
  - ・ プラダム貯水量の増加(貯留水位を上げる)
  - ・ 未利用で太平洋に流出する雨水量減少技術の導入
  - ・ 河川敷・浸透池の浸透水面積の増加
  - ・ 減少する浸透速度を改善、維持する。
  - ・ GWRS施設での高度処理水量の増加
  
- ② **費用を増加させないで地下滞水層から必要地下水量を人口増加に対しても取水費用を増加させないで取水量の増加させること。**
  - ・ 環境問題発生を防止、最低の水道コストの維持、十分な水道水量の確保、持続可能な手法等を考慮して供給する。
  
- ③ **地下水管理・操作の効率性を増加させること。**
  - ・ 地下水の水質を多数のモニタリングすることで、地下水質を保全し、問題点を見出し、対策を講じる。
  - ・ コンピュータモデル化で量と水質の管理

### 3) OCWDのMWD(SC)からの購入水資源

●サンタアナ川への**浸透水(未浄化水)**と**水道水(浄化)**の両方を購入している。

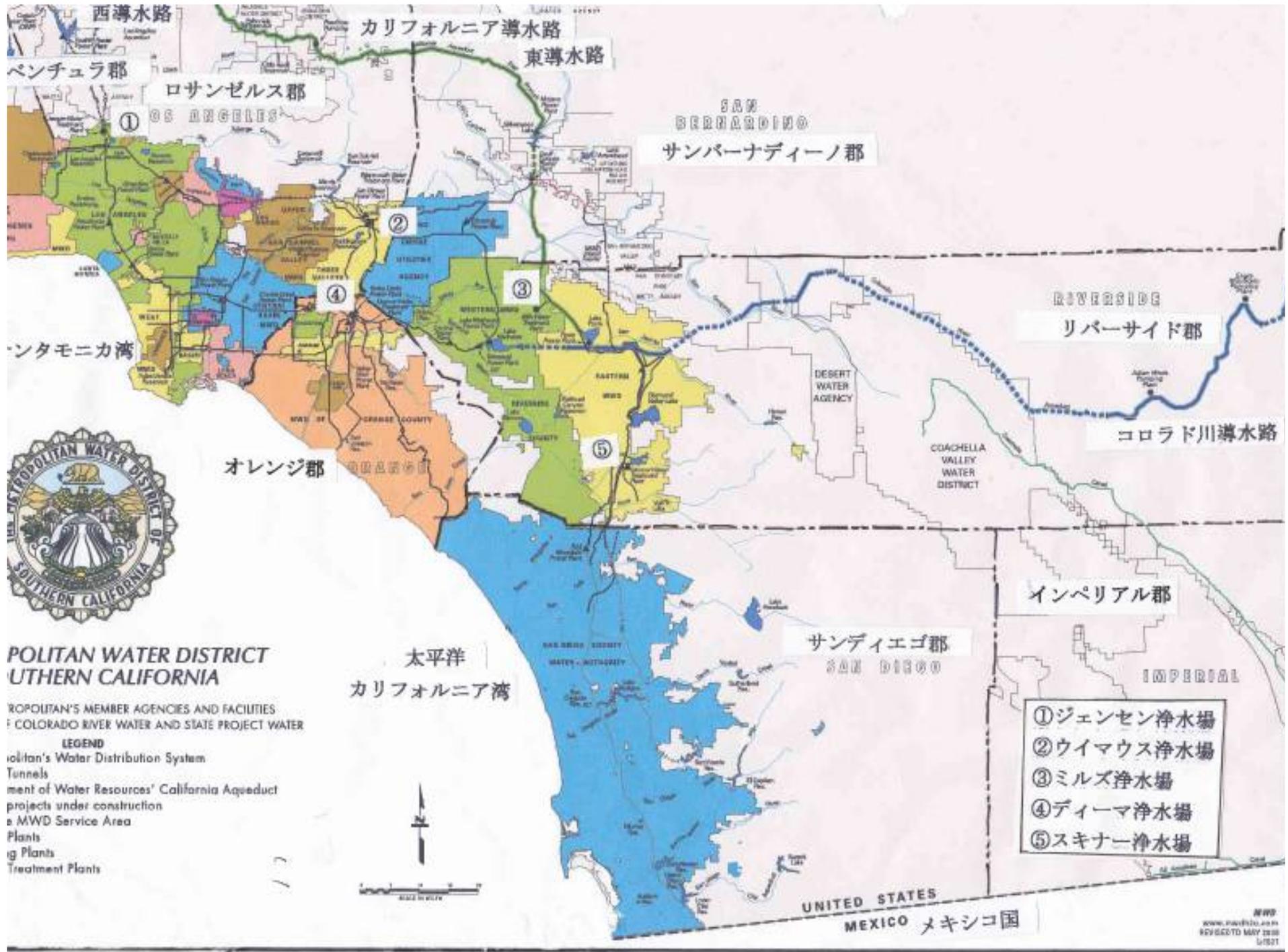
- ① 気象及び送水元条件等により、**コロラド川導水量等及び単価**が変動し、**効率的な水道経営**が出来ないため、OCWDはMDWからの**購入水資源依存度を減少**する考え。
- ② 地下浸透水量が少ないと予測された年度はコロラド川等の**余剰水資源(河川水)**をサンタアナ川水系へ導入。  
上位団体のMWDがこの余剰水資源量の配分を決定する。
- ③ 水道水需要量が地下水取水量を上回ると予測された場合は、MWDからやむえず**水道水**を暫定的に購入する。

(参考) 水資源の流れ:

州政府(水資源局)→南カリフォルニア都市圏水道公団(MWDSC)  
→MWDOC(公社)→**OCWD(オレンジ郡水道組合)**

#### 4) OCWDでの水資源対策の考え方

- **外部水資源の削減**: カリフォルニア導水路水量が2007年から約30%、コロラド川導水路水量が2003年から約50%も削減。され、全削減量は**約50m<sup>3</sup>/秒**と膨大な**削減水量になった**。  
送水元での削減の要因: 水資源不足、地域エゴ、環境保護のための訴訟等。  
OCWDの削減の理由: 購入水資源量が不安定、コスト増加に対応するため。
- **内部水資源の開発**: 削減量をカバーするが、量的には不足。
- 処理水の有効利用が最優先課題
- 将来には不足するので**海水淡水化事業**が進行中。これらのハード対応で不足水資源量はソフト対応の**節水思想の普及とPR**。

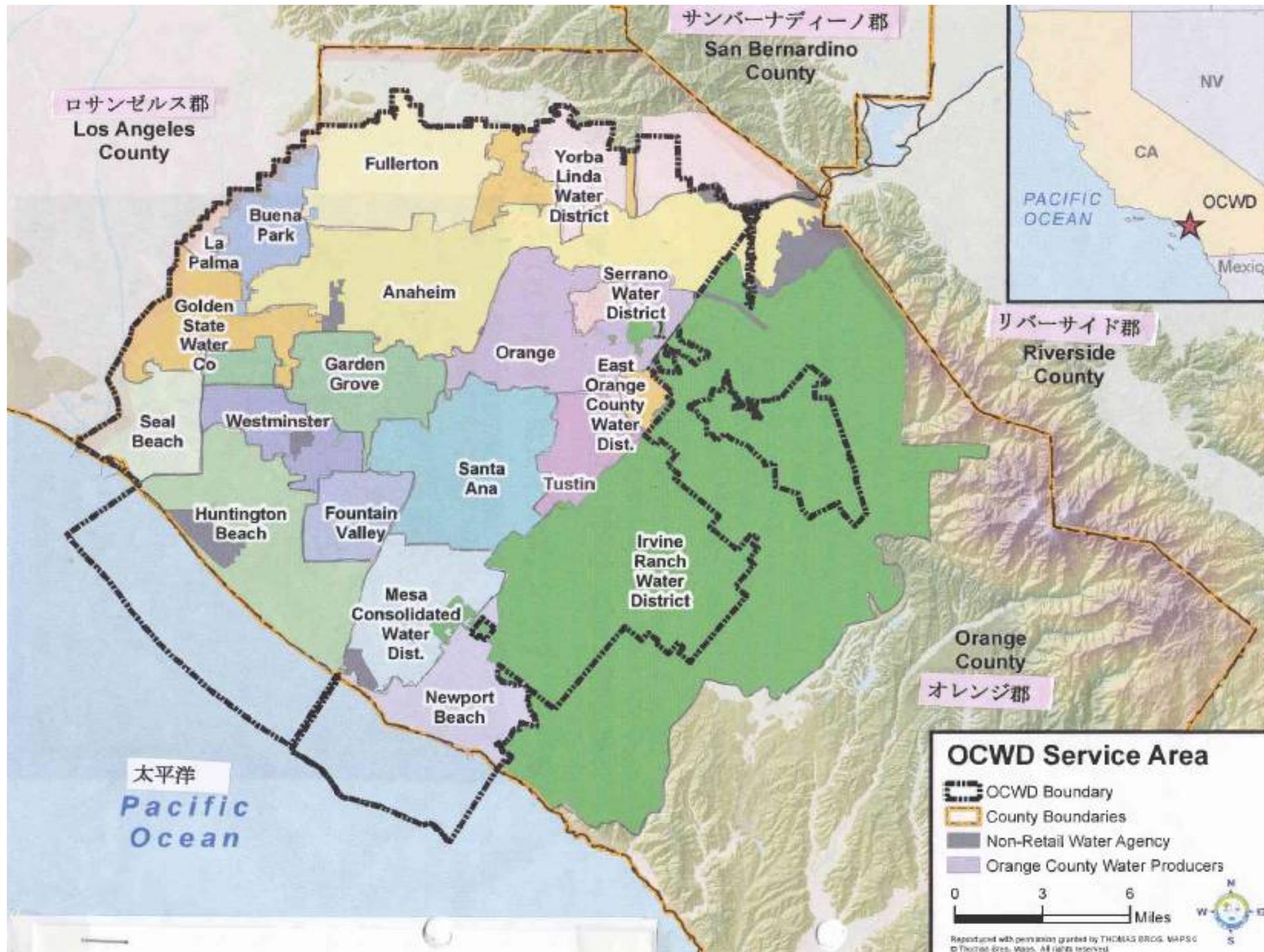


**METROPOLITAN WATER DISTRICT OF SOUTHERN CALIFORNIA**

MEMBER AGENCIES AND FACILITIES  
 COLORADO RIVER WATER AND STATE PROJECT WATER

- LEGEND**
- Metropolitan's Water Distribution System
  - Tunnels
  - Department of Water Resources' California Aqueduct
  - Projects under construction
  - Metropolitan's MWD Service Area
  - Plants
  - Waste Water Treatment Plants
  - Water Treatment Plants

- ① ジェンセン浄水場
- ② ウイマウス浄水場
- ③ ミルズ浄水場
- ④ ディーマ浄水場
- ⑤ スキナー浄水場



### OCWD Service Area

-  OCWD Boundary
-  County Boundaries
-  Non-Retail Water Agency
-  Orange County Water Producers

0 3 6 Miles

W N S E

Reprinted with permission granted by THOMAS BROS. MAPS © Thomas Bros. Maps. All rights reserved.

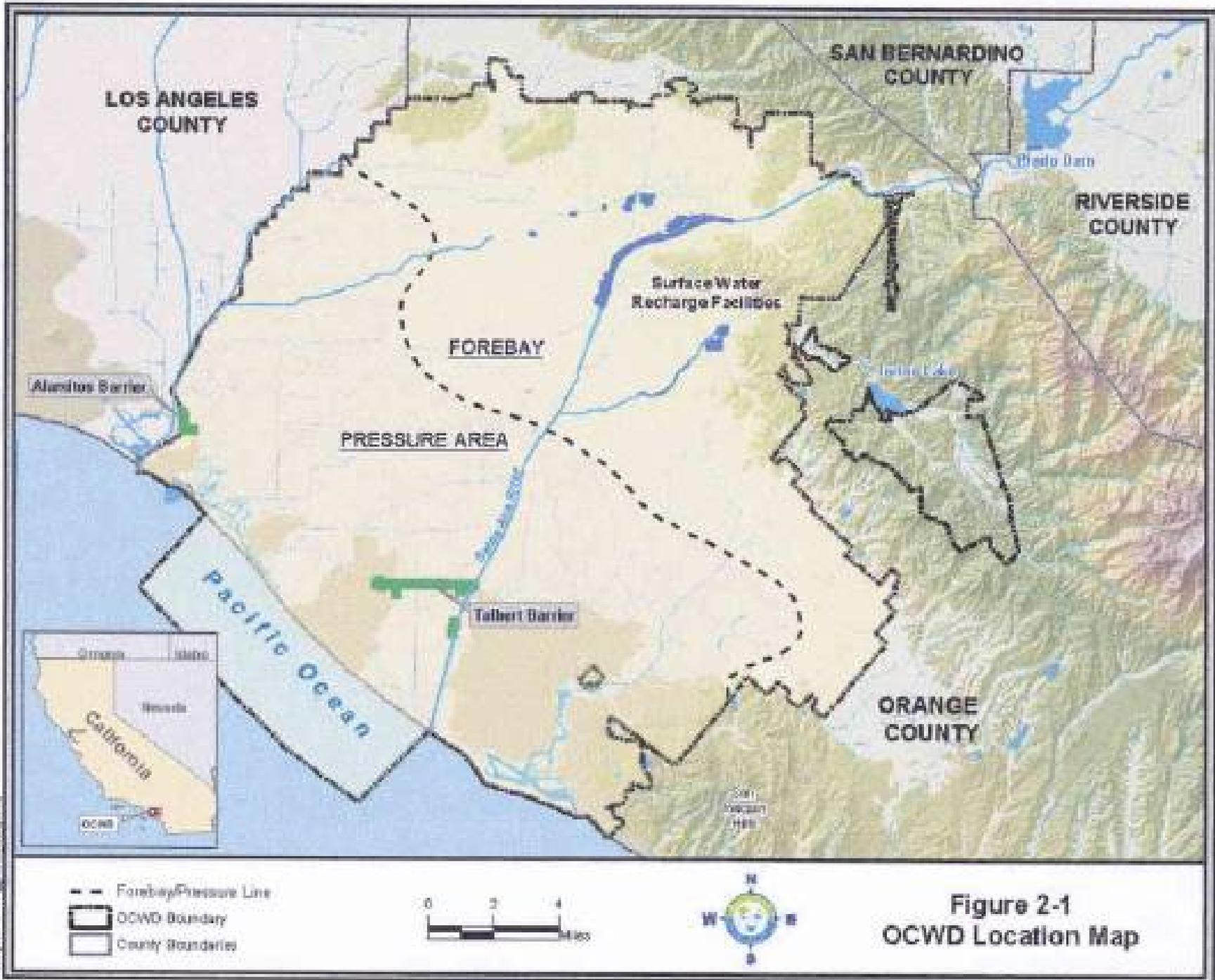


Figure 2-1  
OCWD Location Map

Copyright © 2008, Orange County Water District

## 第2節 オレンジ郡内の地下滞水層

### 1) 概要

- ① オレンジ郡内のサンタアナ川流域面積は約990km<sup>2</sup>で透水性がよい。
- ② 非圧水層地域(上流側で扇状地)と被圧水層地域(下流側で平坦地)
- ③ 滞水層の深さ: 最大で約600m
- ④ 滞水層は浅い第1滞水層、中間部で主帯水層の第2滞水層、および最深部の第3滞水層からなる。貯留可能水量は約800億m<sup>3</sup>。
- ⑤ 滞水層からの地下水取水でOCWD内の約250万人分の約60~70%に給水が可能(現在では不足水道水量はMWDから購入)。
- ⑥ 地下水位の低下: 過去の過剰取水で、地下水位は2008年度に最悪(海水面下約30m)となり、海水の滞水層への浸入量が最大。
- ⑦ 中間部の第2滞水層への悪影響: 過剰摂取時の海水浸入以外に、清浄な第2滞水層に第1及び第3滞水層の汚染地下水が浸入する問題。
- ⑧ 高度処理水の地下圧入と地下水涵養効果: 海水の浸入と汚染水の第2滞水層への移動が大幅に改善。
- ⑨ 地下浸透量を増加させる創意工夫により取水量が過去の約2倍。
- ⑩ 地下水位の変化: ポンプ取水量と年間降雨量に左右される。
- ⑪ 年間降雨量: 平均で約370mm。

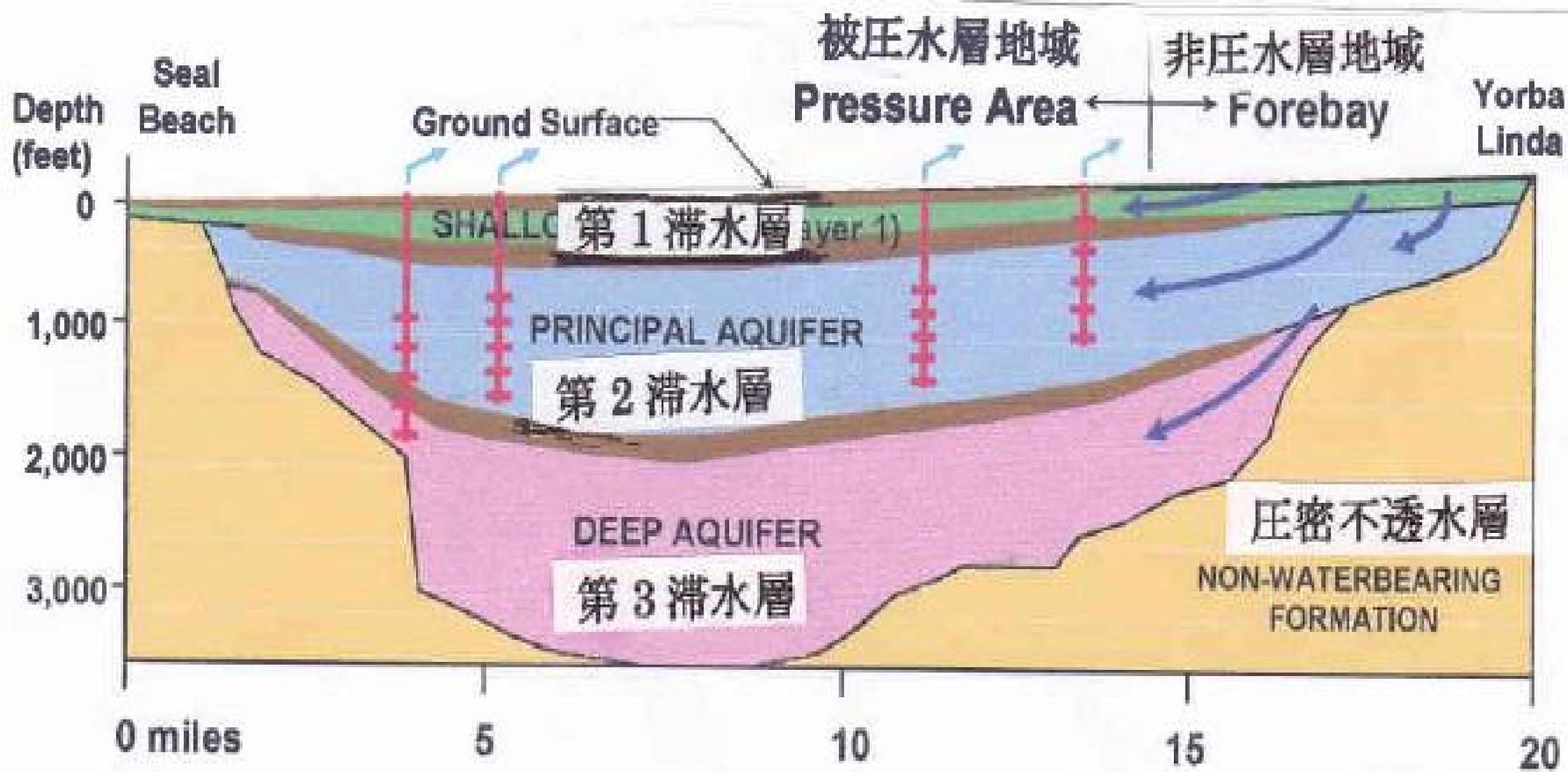
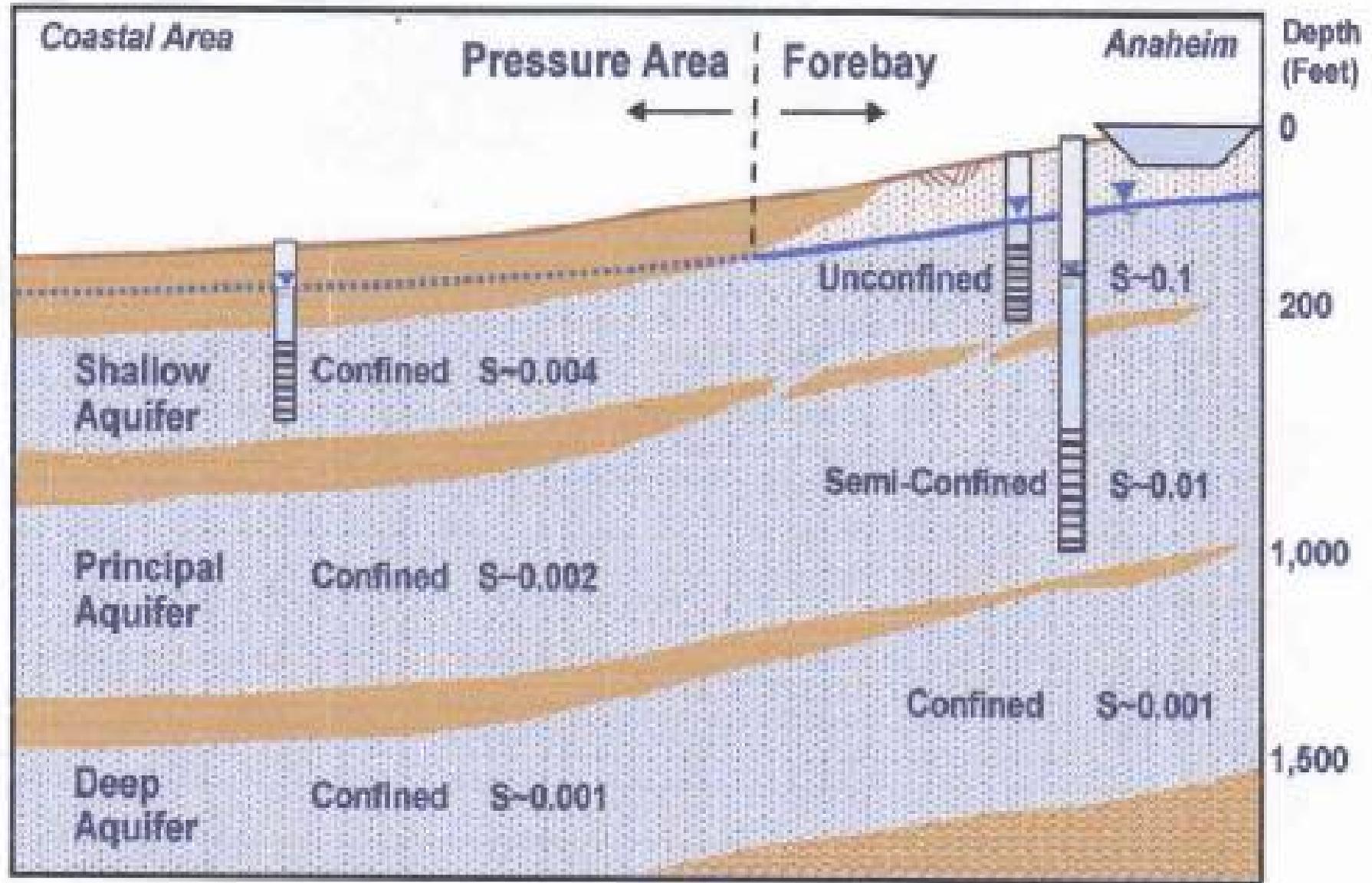


図-12: オレンジ郡の滞水層断面図

Figure 3-4. Schematic cross-section showing storage coefficients (S) values



## 2) オレンジ郡内の地下水涵養水源

- ① **サンタアナ川晴天時流量**: 上流地域のリバーサイド郡とサンバーナデーノ郡地域の都市下水の3次処理水等の有効利用で減少中。
- ② **サンタアナ川雨天時流量**: 年度及び降雨強度のばらつきが大きい。上流2郡区域からの雨天時流出雨水量はプラドダムで貯留・調整。
- ③ **OCWDの高度処理水**: 現在、約265000m<sup>3</sup>/日  
FM膜ろ過＋RO膜ろ過＋AOP(オゾン＋UV消毒)処理。
- ④ **汚染地下水の浄化水利用**: 水資源不足のため、当分は継続。
  - 施肥による硝酸窒素の増加 →RO膜ろ過法
  - VOC等有機溶剤 →ばっ気法及び活性炭吸着法等
  - 着色物質 →UF又はRO膜ろ過法等
- ⑤ **MWDの余剰水資源でコロラド川導水路水の有効利用**:  
この購入水資源量の削減計画はMWDOCが調整。
- ⑥ **その他水系からの自然浸出水**:
  - 海水侵入防止用水の滞水層への増量・圧入の効果あり。

### 3) 地下水涵養水源について

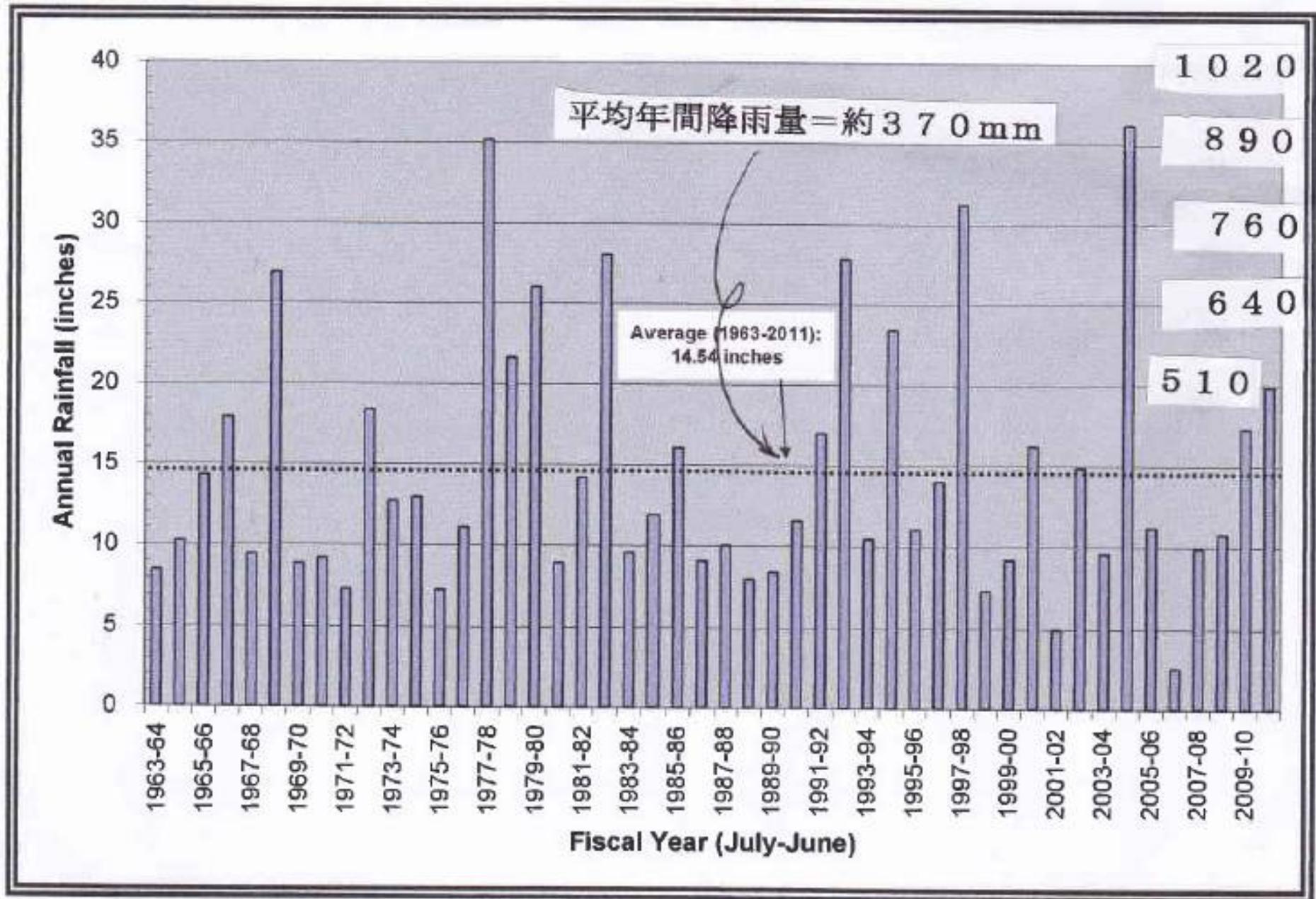
- ① 水源別： **自然水源**と**人工水源(GWRS)**。
- ② 施設別： 河川敷及び浸透池の**自然浸透施設**と**ポンプ圧入施設**
- ③ 発生場所別： **外部水資源**(MWDからの購入水)と  
**内部水資源**(高度処理水及び海水淡水化等)。
- ④ 浸透方法別： **自然浸透方式**と**圧力浸透方式**
- 汚染地下水の浄化水源： 内部水資源であり、量的には少ないが、水道水及び地下水涵養水へ有効利用。

### 参考： 地下水涵養水源別と浸透水量(2010年度)。

- |                  |                             |
|------------------|-----------------------------|
| ① サンタアナ川晴天時水量：   | 約348000m <sup>3</sup> ／日換算  |
| ② サンタアナ川雨天時水量：   | 約267000m <sup>3</sup> ／日換算  |
| ③ GWRSより高度処理水：   | 約222000m <sup>3</sup> ／日換算  |
| ④ 周辺部で自然な浸出水：    | 約315000m <sup>3</sup> ／日換算  |
| ⑤ その他(MWDから購入水)： | 約130000m <sup>3</sup> ／日換算  |
| 合計               | 約1282000m <sup>3</sup> ／日換算 |



図-19 (6) OCWDの地下滞水層と非圧水層及び被圧水層地域



1963~2010年度の年間総降雨量 (OCWD現場事務所)

Figure 3-4  
Monthly Local Storm Flow Capture, 2010-11



プラドダムのサンタアナ川流入年間流量 (1936~2011年度)



# Warner System



図-33: サンタアナ川河川敷の水平迂回流式浸透施設

## 4) 自然浸透による地下水涵養

### ● サンタアナ川河川敷からの**自然浸透方法**：

- ・ 非圧水層地域で浸透性の良い土質。扇状地。
- ・ 用地を取得できた場所では**サンタアナ川分水路**を設けて、同じ機能の浸透ゾーンを拡張・建設。
- ・ サンタアナ川本流浸透区域：川幅は90～120m、延長は約10km  
サンタアナ川分水路浸透区域：川幅は30～60m、
- ・ 河川敷には**ラバーダム**を数か所設けて晴天時・雨天時の河川水を分水。
- ・ 河川敷の全浸透面積：**約168ha**
- ・ GWRS施設からの高度処理水が浸透池にポンプ送水(約21km)。
- ・ **浸透池水面積**：**約268ha**
- ・ その他、周辺地域から浸出水が自然に地下浸透。

### ● 問題点

- ・ 浸透速度の低下原因： プラドダムで粗い土砂が沈殿除去され、サンタアナ川に流下しない。即ち、浸透性の良い土壌が減少。上流地域での凝集沈殿法による微粒子が河川敷に堆積、浸透速度の低下。
- ・ サンタアナ川水中の**発がん性物質**： 自然浸透法では除去不可。
- ・ 高度処理水では発がん性物質を除去していることに矛盾。





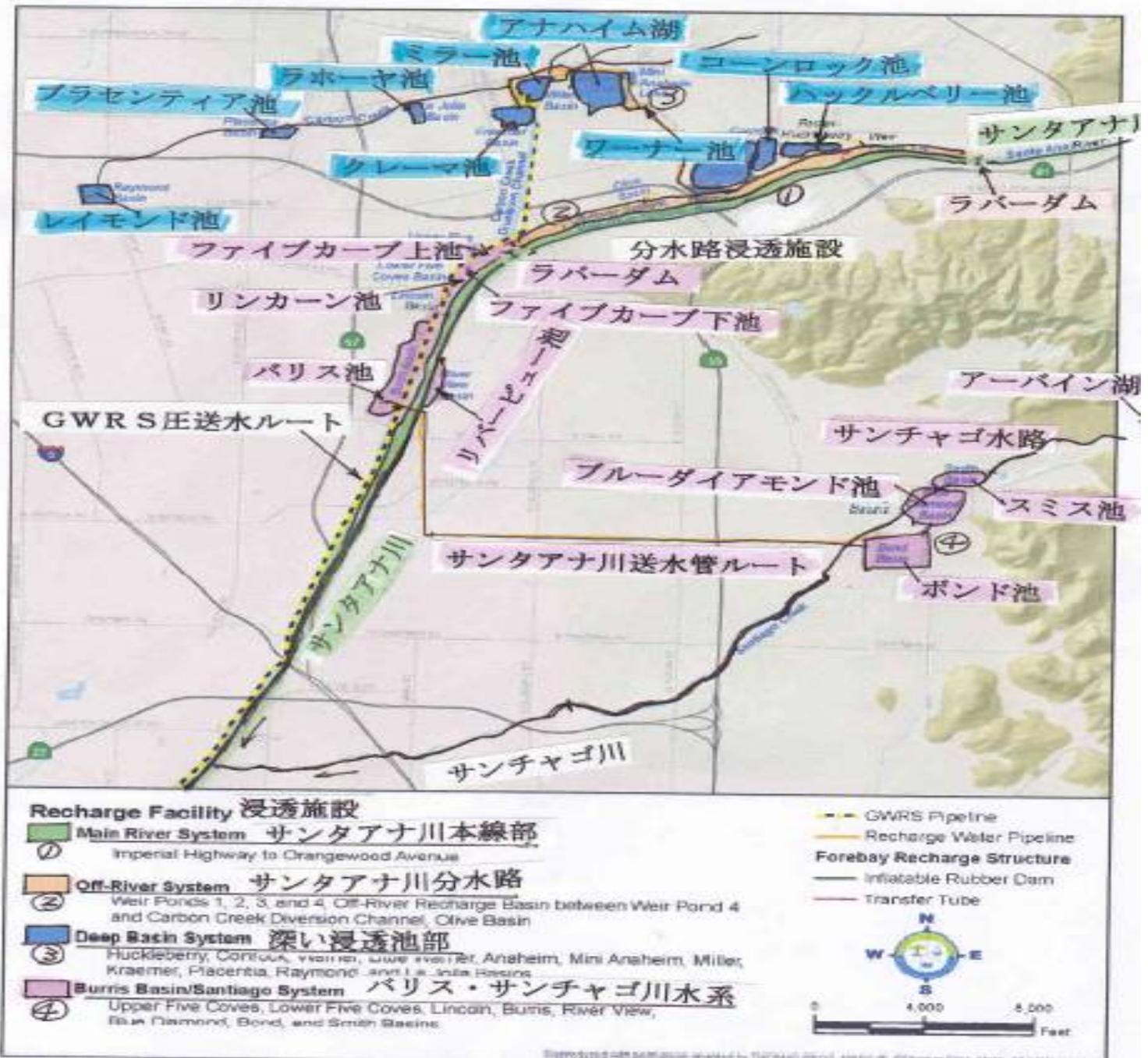
図-20 (7) サンタアナ川分水用のラバーダム



水平迂回流式土堤



GWRD RECHARGE FACILITIES IN ANAHEIM AND ORANGE



Reproduced with permission from the National Ground Water Association (NGWA) and the Groundwater Replenishment System (GWRD).

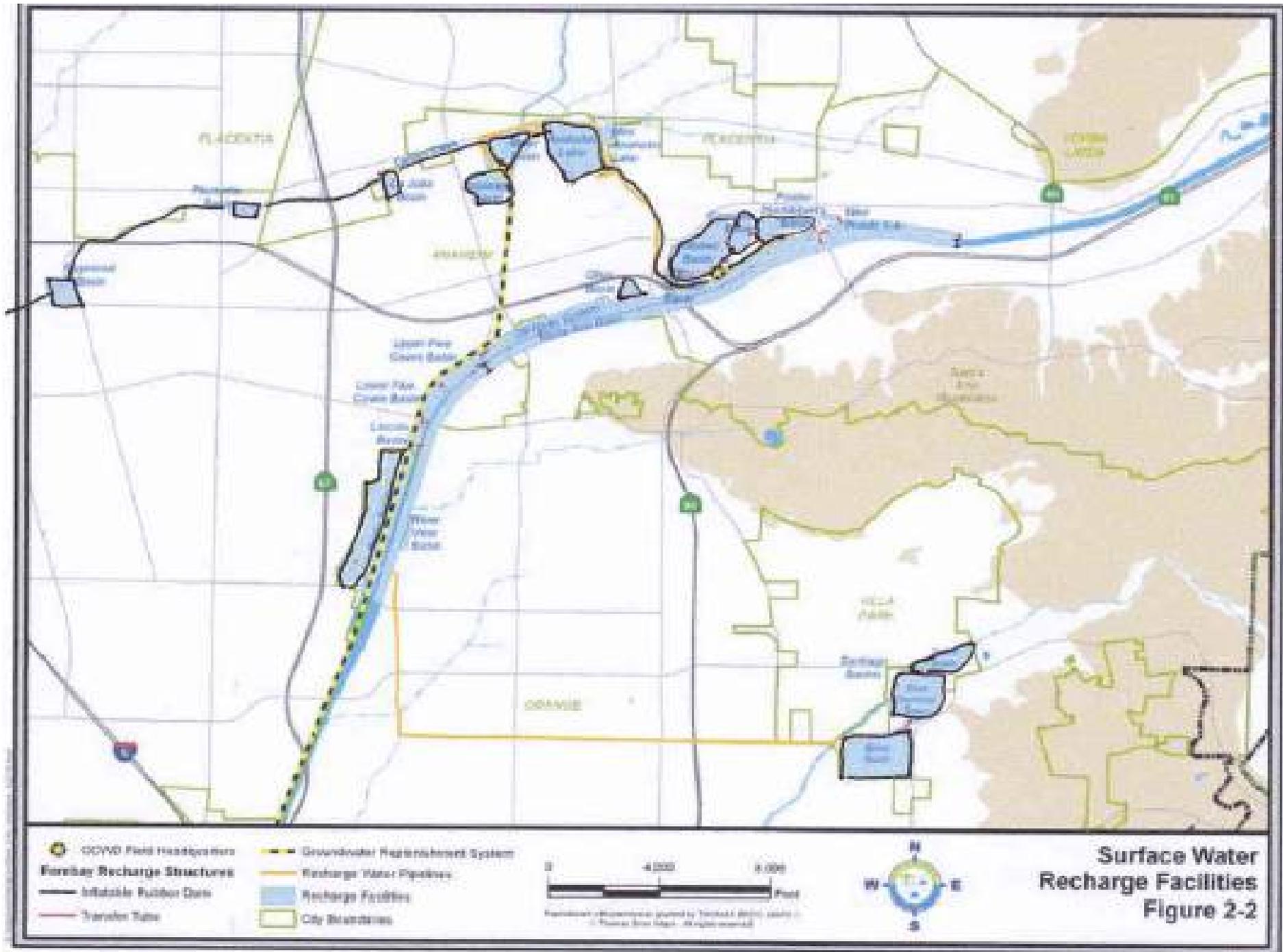




図-32: アナハイム浸透池等

## 7) 地下圧入式地下水涵養方法

### ① 目的:

- ・ 地下水の過剰汲み上げにより地下水位が低下し、海水が滞水層に浸入するのを防止するために、**GWRS施設の高度処理水をポンプで地下滞水層に圧入する。**

### ② タブラート断層部:

- ・ 1975年開始: 当初は再生水、購入水道水、地下水の3種類の注入
- ・ 圧入量: **約112000m<sup>3</sup>/日(2010年度)。**
- ・ 圧入水: 2008年1月より、GWERS施設の高度処理水のみを圧入。
- ・ 圧入延長: 約5km
- ・ 圧入ポンプ施設: 36か所、
- ・ 圧入井戸数: 108個

### ③ アラミス断層部:

- ・ 1960年より水道水で圧入の開始:
- ・ 2005年10月: 高度処理水(約4000m<sup>3</sup>/日)と水道水の混合水で圧入
- ・ 場所: オレンジ郡とロサンゼルス郡にまたがるので両郡の共同事業。
- ・ 圧入量: **約17000m<sup>3</sup>/日(2010年度)**
- ・ 圧入延長: 約3km
- ・ 圧入ポンプ施設: 43か所、

### ④ 共に多くのモニタリング井戸で地下水位と水質は測定されている。



# Seawater can move into deeper aquifers through mergence zones.

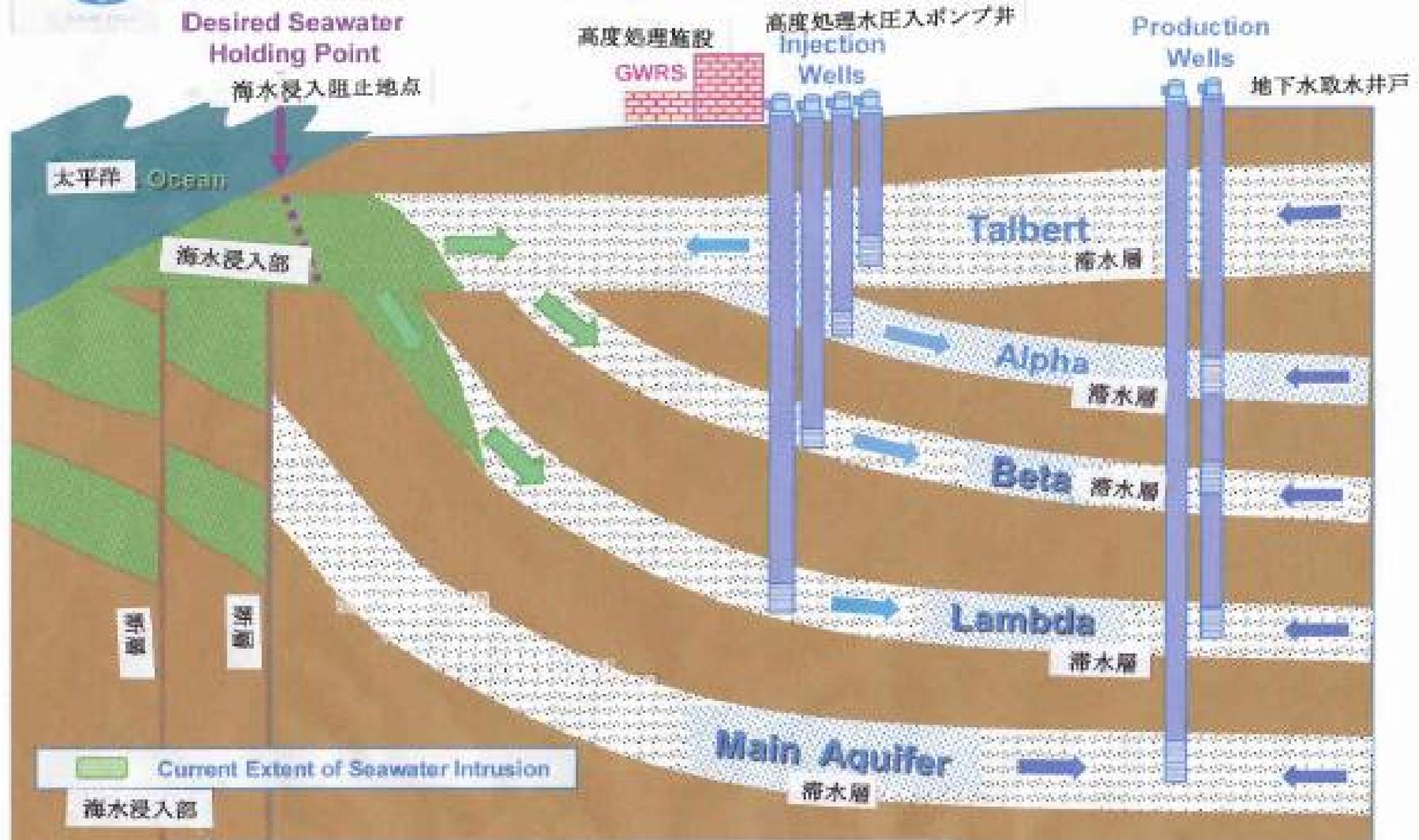
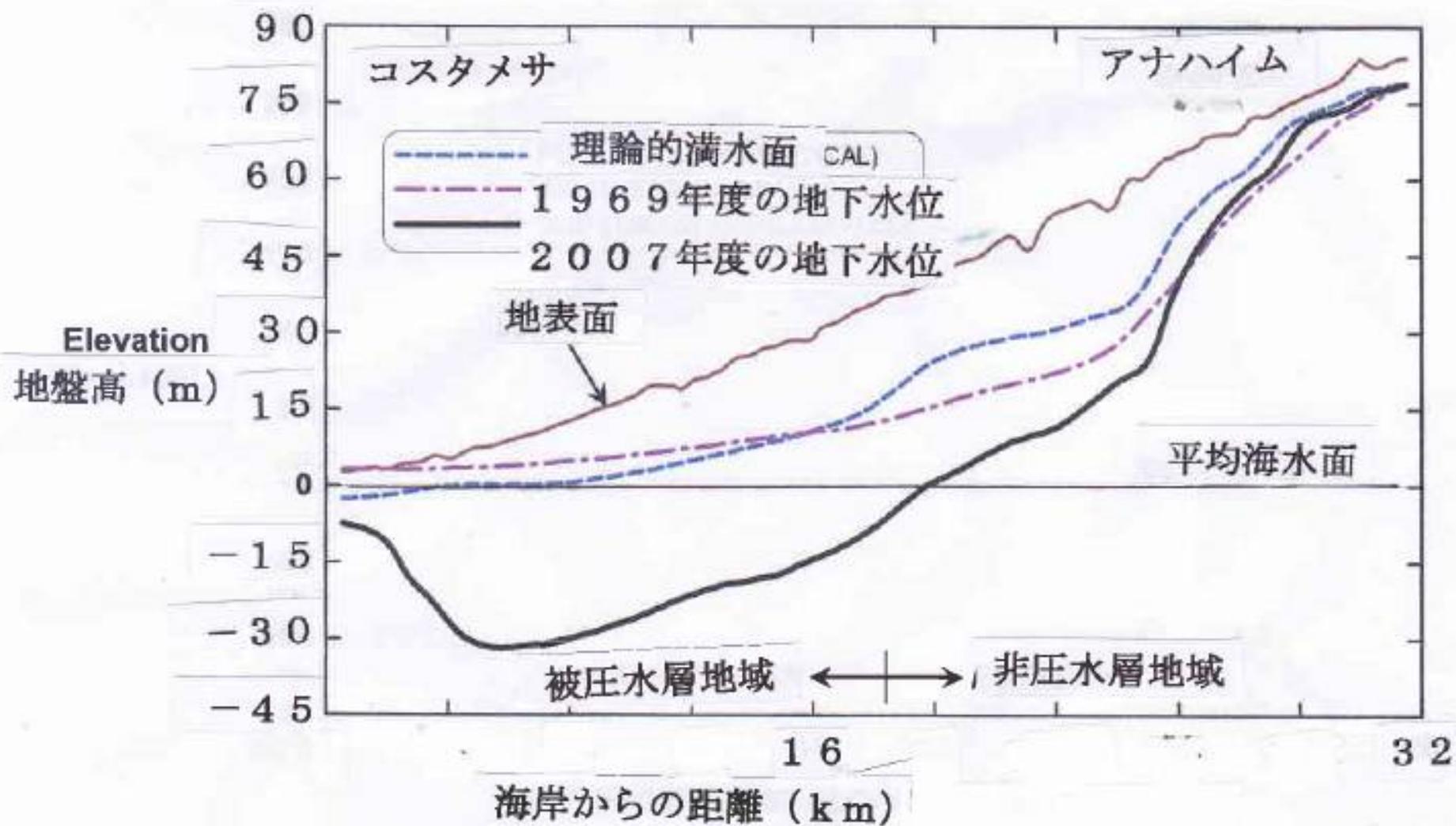


図-21: OCWDの高度処理関連施設の断面図

# コスタメサ～アナハイム区間の地下水位変化



## 8) プラドダム

- 洪水調整ダムに水道水源ダム兼用に協議して目的を追加。
- ① 1941年： 主に**洪水調整**目的で陸軍工兵隊が建設。アース式。
- ② 1955年： 雨天時に未利用で太平洋に降雨量が流出することを改善するために検討委員会設置(メンバーは OCWD, ACOE (陸軍工兵隊), アメリカ魚類保護団体及び野生生物保護団体)
- ③ 従来の洪水調整高さ： **+148.2m**
- ④ 1993年： 4者合意で**晴天時は+151.5mの3.3mアップ**。  
OCWDはこれによる水没面積**約460ha**の用地を購入し、  
絶滅危惧種などの野生生物保護を促進。
- ⑤ **降雨期**： +148.2m → **149.4mに1.2mアップ**。  
この対応でサンタナ川の地下滞水層への浸透量が増大。
- ⑥ 湿地帯(**183ha**)で河川水の窒素を生物学的除去法で水質浄化。
- ⑦ OCWDの所有用地： 約1060ha  
(この内、水源保全湿地は**約870ha**)



流域面積  
約 5 3 3 0 k m 2

サンタアナ川

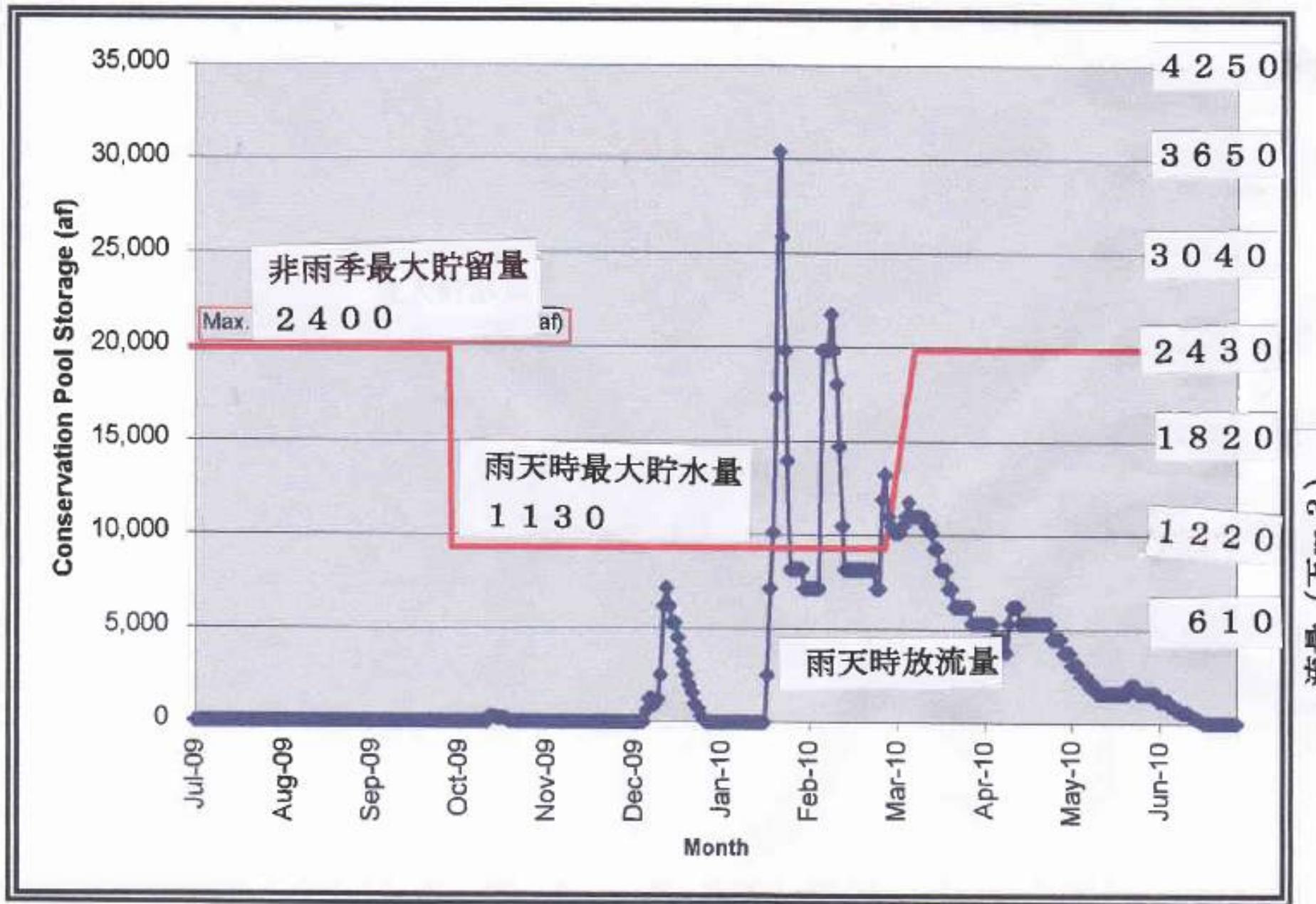
プラドダム

San Jacinto Watershed  
770 Square Miles

流域面積  
約 9 9 0 k m 2

# プラドダムでの沈殿物除去及び水質改善対策位置図





プラドダムへのサンタアナ川の月別流量（2009年度）

## 第3節 高度処理施設(GWRS)

### 1) 目的:

- ① 2次処理水を飲料可能水質まで高度処理して浸透池から地下浸透させ地下水を涵養させる。

市民の心理的拒否の「トイレから蛇口」対応が経費増大を。

- ②沿岸部のタブラート断層地帯から地下滞水層に海水が浸入するのを防止するための高度処理水を地下に圧入。

### 2) 現在の処理方法と処理規模:

2次処理水量: 約365000m<sup>3</sup>/日

MF膜ろ過水量: 約325000m<sup>3</sup>/日

(この処理水の一部約15000m<sup>3</sup>/日を景観用水に直接利用)

RO膜ろ過水量: 約265000m<sup>3</sup>/日

- 高度処理水中に微量残存する発がん性物質(NMDA, 1, 4-Dioxane)の除去にAOP(過酸化水素添加UV消毒)法を導入。
- 将来は約500000m<sup>3</sup>/日に増設予定



写真一5 オレンジ郡下水道組合及びオレンジ郡水道組合  
施設の航空写真（左側：下水処理、右側：高度処理施設）

# OCWDのGWRS（高度処理水）施設の配置図



現処理能力：265000m<sup>3</sup>/日

増設施設：114000m<sup>3</sup>/日

将来計画処理能力：492000m<sup>3</sup>/日



# GWR System Advanced Water Purification Process



図-20 : OCWDの高度処理施設 (MF膜、RO膜、UV・H2O2消毒法)

### 3) 高度処理水の地下水涵養方法

#### (1) 浸透池施設からの自然浸透方法

- 高度処理水はポンプでサンタアナ川の上流約21kmへ圧送。
- アナハイム湖等に送水され、そこから自然浸透する。
- 浸透速度の低下防止のために定期的に池底部の浚渫。

#### (2) GWRS施設の増設

- 将来の水道水需要量増大
- 現在： 約265000m<sup>3</sup>/日
- 将来： 約500000m<sup>3</sup>/日

#### ● 歴史的経過

- 1970年代からWF21とした下水2次処理水を化学的及び物理的処理法で3次処理及び高度処理法の技術を開発。
- 2004年度に停止し、新技術開発で現在のGWRS施設に。
- 2008年1月からGWRS施設の約265000m<sup>3</sup>/日を稼働。



# GWR System Components



#### 4) 高度処理水の地下圧入による海水の浸入防止

##### (1) 地下圧入箇所：断層部及び地盤の泥弱部分

- ・ **タブラート断層部**： GWRS施設北側のタブラート通り
- ・ **アラミス断層部**： ロサンゼルス郡との共同地下圧入事業

##### (2) 地下圧入量：

- ・ **タブラート断層部**： 最大で約120000m<sup>3</sup>/日
- ・ **アラミス断層部**： 最大で 約20000m<sup>3</sup>/日
- ・ 年度によりサンタアナ川流域での降雨量が変化し、また水道水需要量が増減するので地下水位が上下する。この挙動をモニタリングし、コンピュータ解析で地下圧入量の増減を決定。

##### (3) 地下水位の変化：

- ・ 地下水の過剰取水により地下水位は**海水面より低くなり**、貴重な地下滞水層が**塩分**で汚染された。
- ・ 2008年度が最悪状態(地下水：**海水面下約30m**)。
- ・ 2008年1月からGWRS施設がフル稼働し、2010年度では滞水層への多くの圧入水量の増加等の結果により地下水位は上昇し、大きな改善効果あり。
- ・ 今後も、その年の降雨量の多少に影響受ける。

##### (4) 地下水の水位と水質観測： **モニタリングの強化**

表-11 OCWDでのGWRS高度処理法毎の水質の改善

水質項目	単位	2次処理水	MF膜ろ過水	RO膜ろ過水	UV消毒水	最終処理水	参考:水道水
電気伝導度	$\mu\text{m}/\text{cm}$	1600	1678	41	43	81	941
TDS	$\text{mg}/\text{L}$	920	*	20	19	40	565
SS	$\text{mg}/\text{L}$	6.4	2.8	*	*	*	*
UV透過率(254nm)	%	*	61	98	*	99	91
pH		7.7	7.6	5.1	5.9	8.2	8.3
全硬度	$\text{mg}/\text{L}$	290	*	1>	1>	23	264
塩化物	$\text{mg}/\text{L}$	241	227	3	3.7	3.6	96
硫化物	$\text{mg}/\text{L}$	226	226	0.8	0.8>	0.5>	213
NH <sub>3</sub> -N	$\text{mg}/\text{L}$	24.7	24.8	1.4	*	1.4	0.4
全窒素	$\text{mg}/\text{L}$	27.9	27.6	*	*	1.7	0.9
PO <sub>4</sub> -P	$\text{mg}/\text{L}$	0.8	*	*	*	0.01>	0.01
鉄	$\text{mg}/\text{L}$	248	110	1.2	1.8	7.2	14.4
N-NDMA	$\mu\text{g}/\text{L}$	31.1	26.3	12.3	2>	2>	9.5
1,4-ジオキシン	$\mu\text{g}/\text{L}$	1.42	*	*	1>	1>	1>
全トリハロメタン	$\mu\text{g}/\text{L}$	*	1.5	0.83	1	0.18	49.6

注1: \*印は分析なし。0.1>とは0.1以下のこと。

注2: 水道水質基準はNO<sub>3</sub>-N=10mg/L、NO<sub>2</sub>-N=0.2mg/L、全トリハロメタン=80 $\mu\text{g}/\text{L}$ 等、

注3: UV消毒法は過酸化水素添加UV法で、その処理水に送水管保護のために石灰が添加されている。

● 飲料水の2次水質基準 (USEPA, CDPH)

塩分濃度: 500mg/L

塩化物: 250mg/L

硫化物: 250mg/L

● TDS濃度の目標値 (サンタアナ川流域水質規制局)

オレンジ郡の主要部: 580mg/L

アーバイン地域: 910mg/L

● サンタアナ川のTDS濃度: 約200mg/L

● 飲料水中の硝酸性窒素濃度

水道水: 10mg/L (USEPA, CDPH)

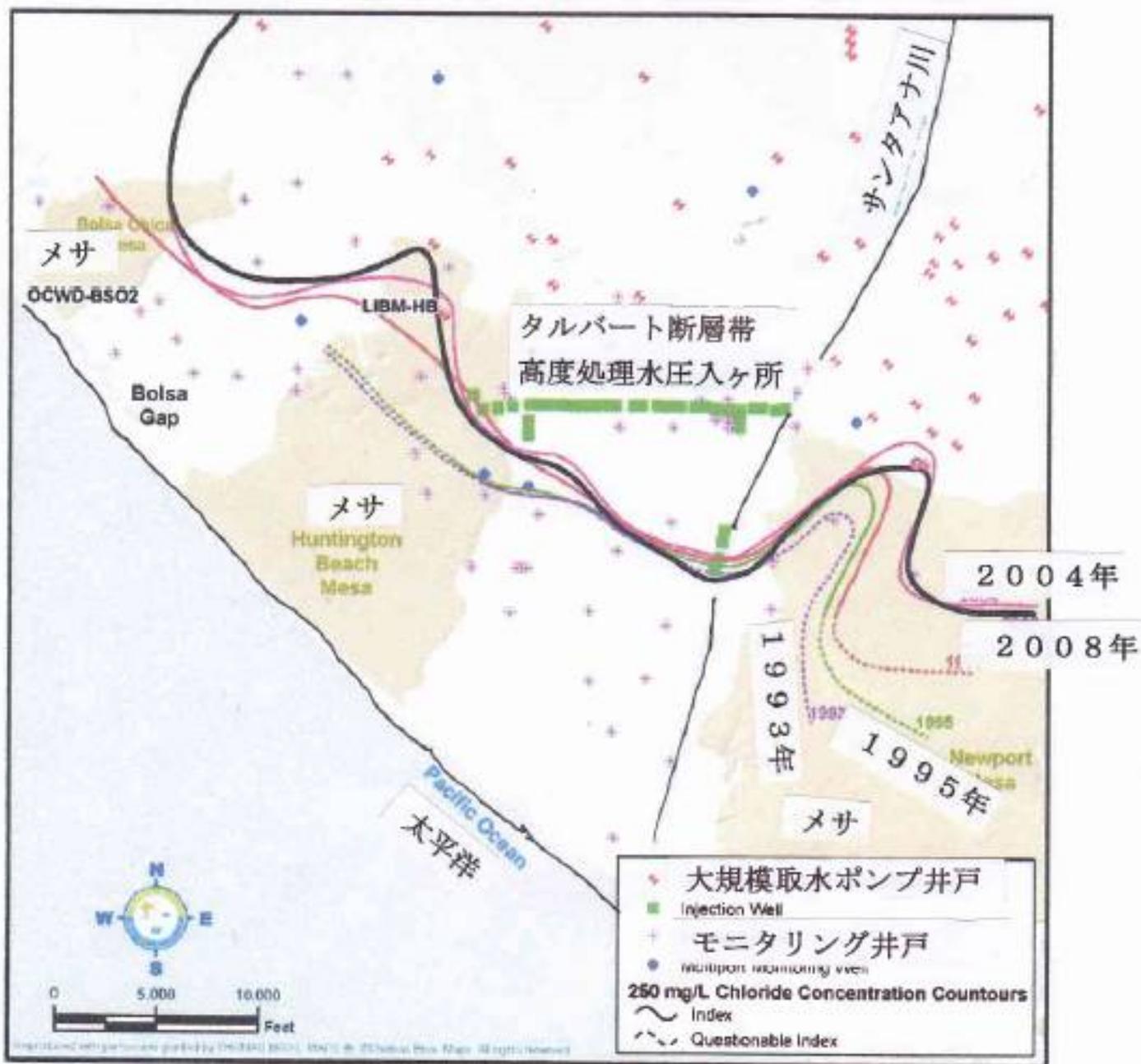
オレンジ郡主要部: 3.4mg/L (SRWQCB)

アーバイン地域: 5.9mg/L



図-14： 高度処理水の海水浸入防止用用水の圧入箇所

タブラート断層部の地下水塩素濃度 (250 mg/L)



# アラミトス断層部の海水浸入防止対策



# アラミトス断層部への高度処理水圧入と塩分濃度



## 第4節 地下水管理： 取水量と需要量予測

- 1) 目的： **コストアップを避けて取水量を最大にする。**
- 2) 歴史：
  - 1949年より意図した地下浸透を開始。
  - 1953年よりサンタアナ川の改修と浸透池の建設。
  - サンタアナ川の河川敷面積： **約168ha**
  - 浸透池面積： **約268ha**
- 3) BPP法：
  - 全給水量に対する地下水取水量との比率。**目標は75%以下**にしたい。
  - 75%以上にすると過剰取水量が増加し、諸問題が発生する。また取水コストが上昇するので、MWDから水道水を購入した方が安い場合がある。
- 4) 浸透水量と取水量とのバランス：
  - ポンプ取水量、地下水貯留量、地下水位、地下水質等を含めて総合的なモニタリング計画によって動力学的に地下滞水層を把握している。
  - 具体的には年度末に**地下水位のコンター図**が示され、貯留水量が把握される。今後、少ない降水量が継続しても取水が持続出来る**過剰取水量等**の限度をコンピュータ解析で定める。自然浸透水量は予測量で、モニタリングの地下水位等から再検討される。

## 5) 地下水取水量の変化

(1) 過去： 地下浸透水量の確保が十分でなく、過剰摂取状況。

(2) 現在の取水量：

- ・ 大小約200か所の取水ポンプ施設から約90～120万m<sup>3</sup>／日。
- ・ 水道水需要量不足分は当分はMWDからの購入水道水等で賄う。
- ・ 地下水源はサンタアナ川の晴天時・雨天時河川水、高度処理水、MWDからの購入河川水、その他自然浸出水等。

## 6) 飲料水需要量

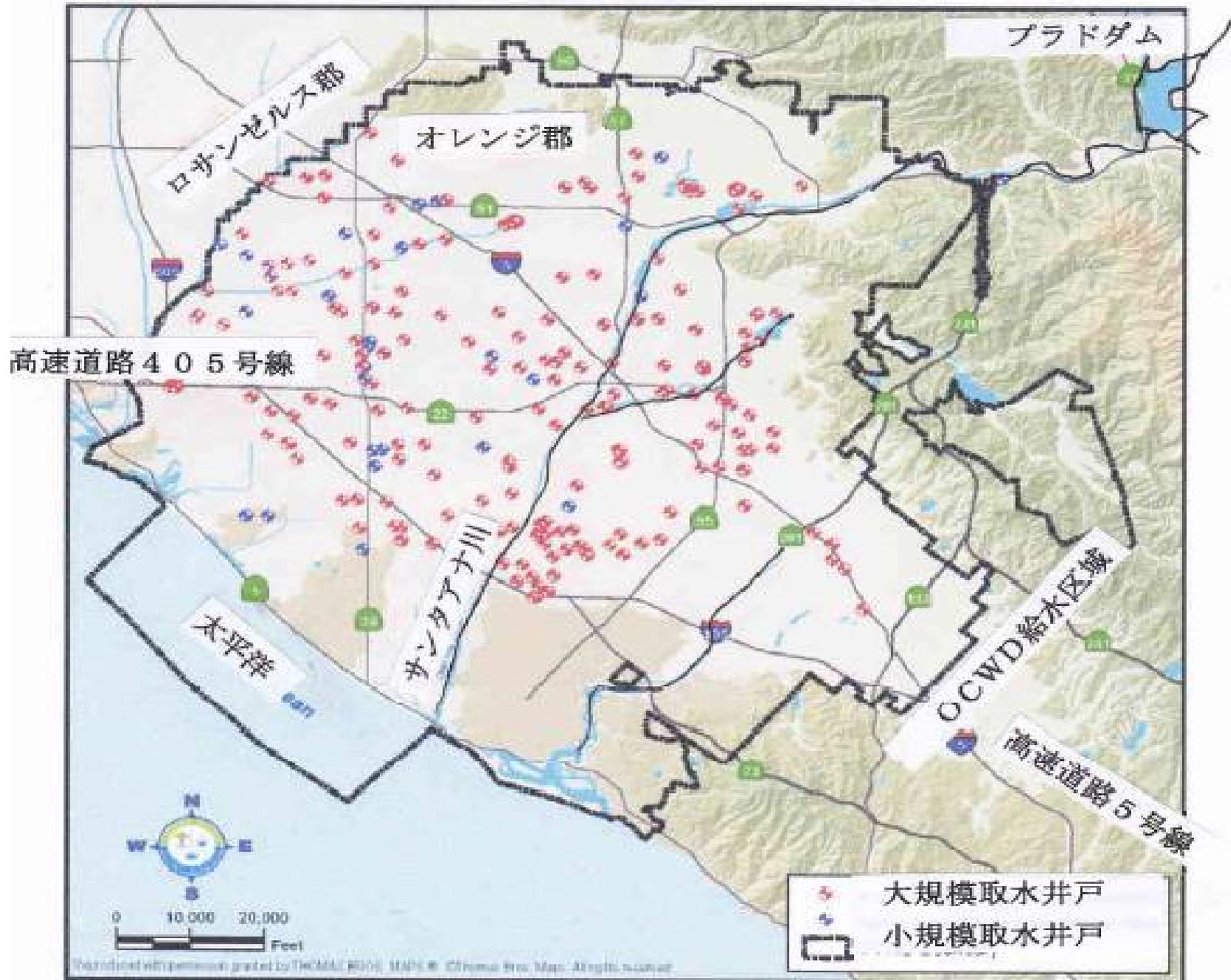
(1) 飲料水需要量： 約140～160万m<sup>3</sup>／日で、地下浸透水量を大きく超えている。

(2) 将来の飲料水需要量は増加するので、GWRS施設増設で高度処理水量を増加させ、海水淡水化施設を稼働させる計画。更に給水量と需要量のギャップは節水による使用量の削減を見込んでいる。

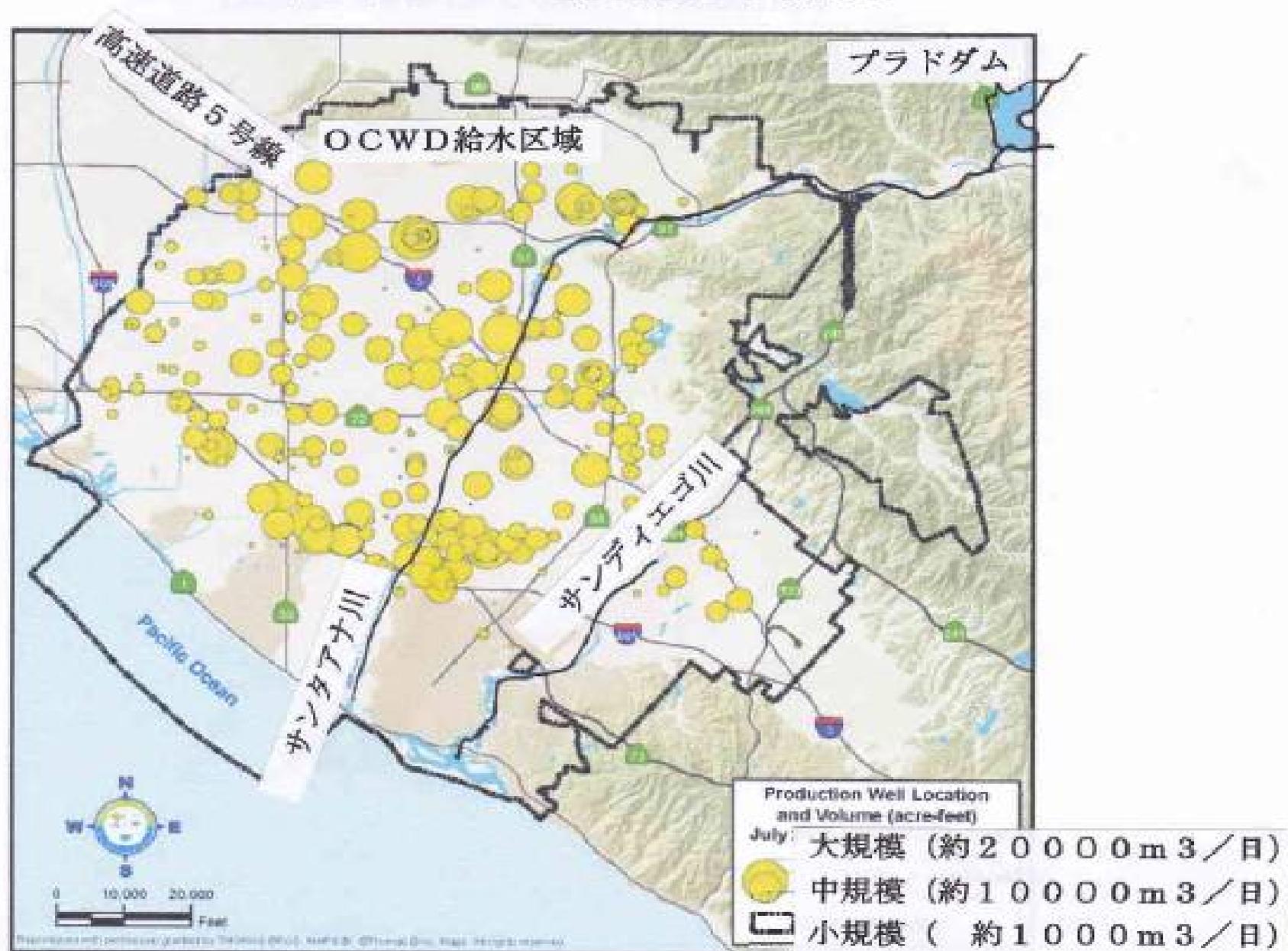
(3) 不足分対応のMWD購入水道水量を削減する計画。

(4) 購入水量の削減理由： 確保できる量の不安定性とコスト高

# 取水ポンプ用井戸箇所



# 地下水取水ポンプ施設場所と取水能力



単位：万m<sup>3</sup>/日

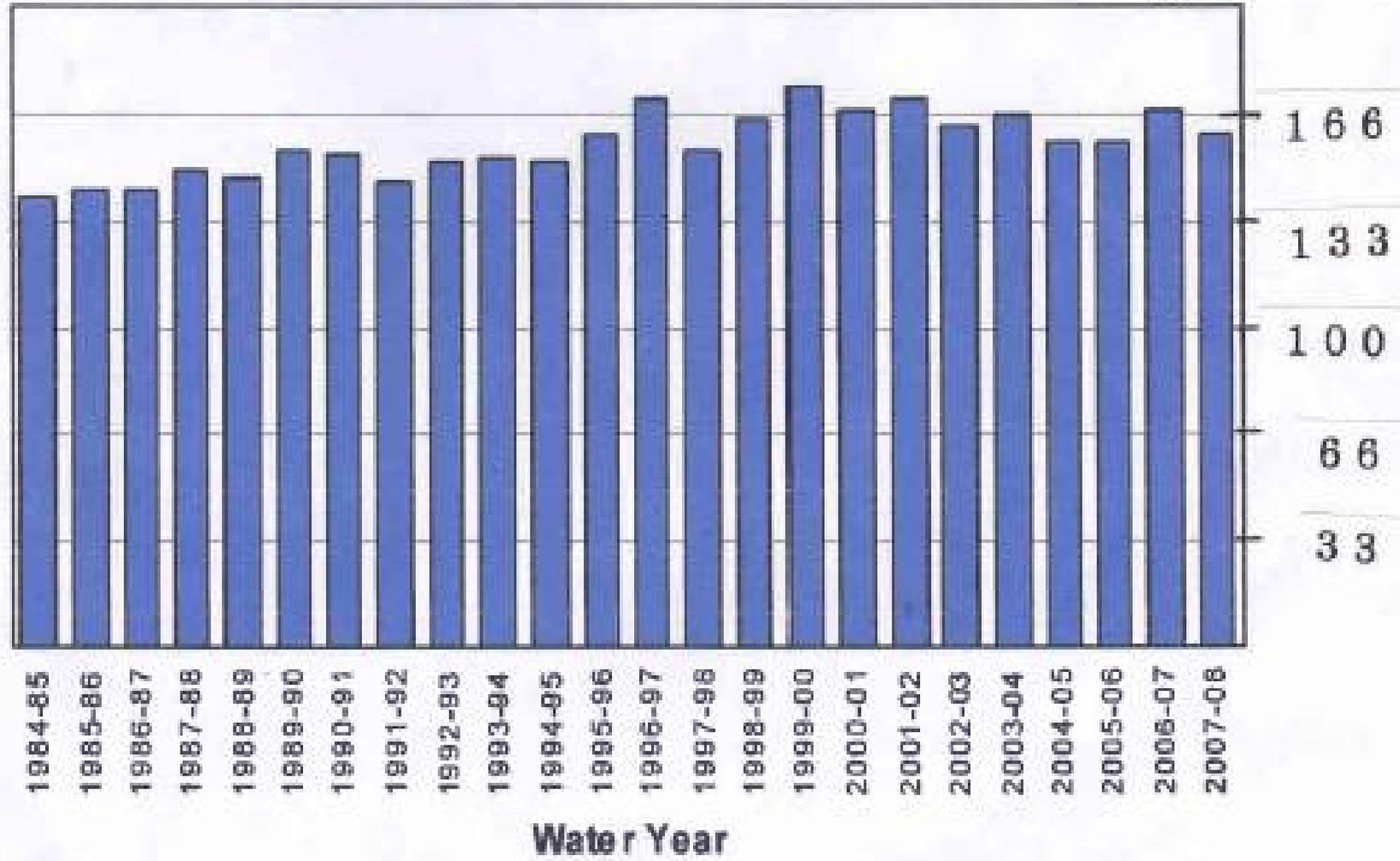


図-19 (5) OCWDの水道水需要量の経年変化

表一13 OCWDでの地下水取水団体グループ別取水量(2009年度)

取水団体	取水量(m <sup>3</sup> /日換算)	備考
① 自治体	610000	アナハイム市、サンタアナ市など14市
② 水道組合	306000	アーバインランチ水道組合等14団体
③ ゴルフ場	10000	海軍兵士用ゴルフ場など10団体
④ 公園・墓地	4000	ウエストミンスター墓地公園など9団体
⑤ 民間企業	5000	ナッツベリーファームなど10団体
合計	935000	100m <sup>3</sup> /日以上取水する57団体

注1: オレンジ郡の地下滞水層からポンプ取水している自治体、企業のうち、取水量が85m<sup>3</sup>/日以上57団体を大分類別に実績を分類した。

表-10 OCWDでの大規模取水自治体等トップテン(2009年度)

取水自治体等の名称と人口	取水量 (m <sup>3</sup> /日)	備考:MWDから購入水量(m <sup>3</sup> /日)
① アーバンランチ水道組合*	153000	6000
② アナハイム市(336000人)	140000	83000
③ サンタアナ市(325000人)	81000	50000
④ オレンジ市(136000人)	63000	39000
⑤ ハンチントンビーチ市(190000人)	61000	38000
⑥ フラトン市(135000人)	58000	35000
⑦ ゴールデンゲート水道組合*	54000	33000
⑧ メサ連合水道組合*	53000	8000
⑨ タスティン市(76000人)	38000	4000
⑩ ニューポートビーチ市(85000人)	34000	21000

注1: カッコ内は2010年度の自治体の人口。

注2: 水道組合は幾つかの自治体からなる。

注3: 各自治体等は地下水ポンプ取水量の他にMWDからの購入飲料水量がある。

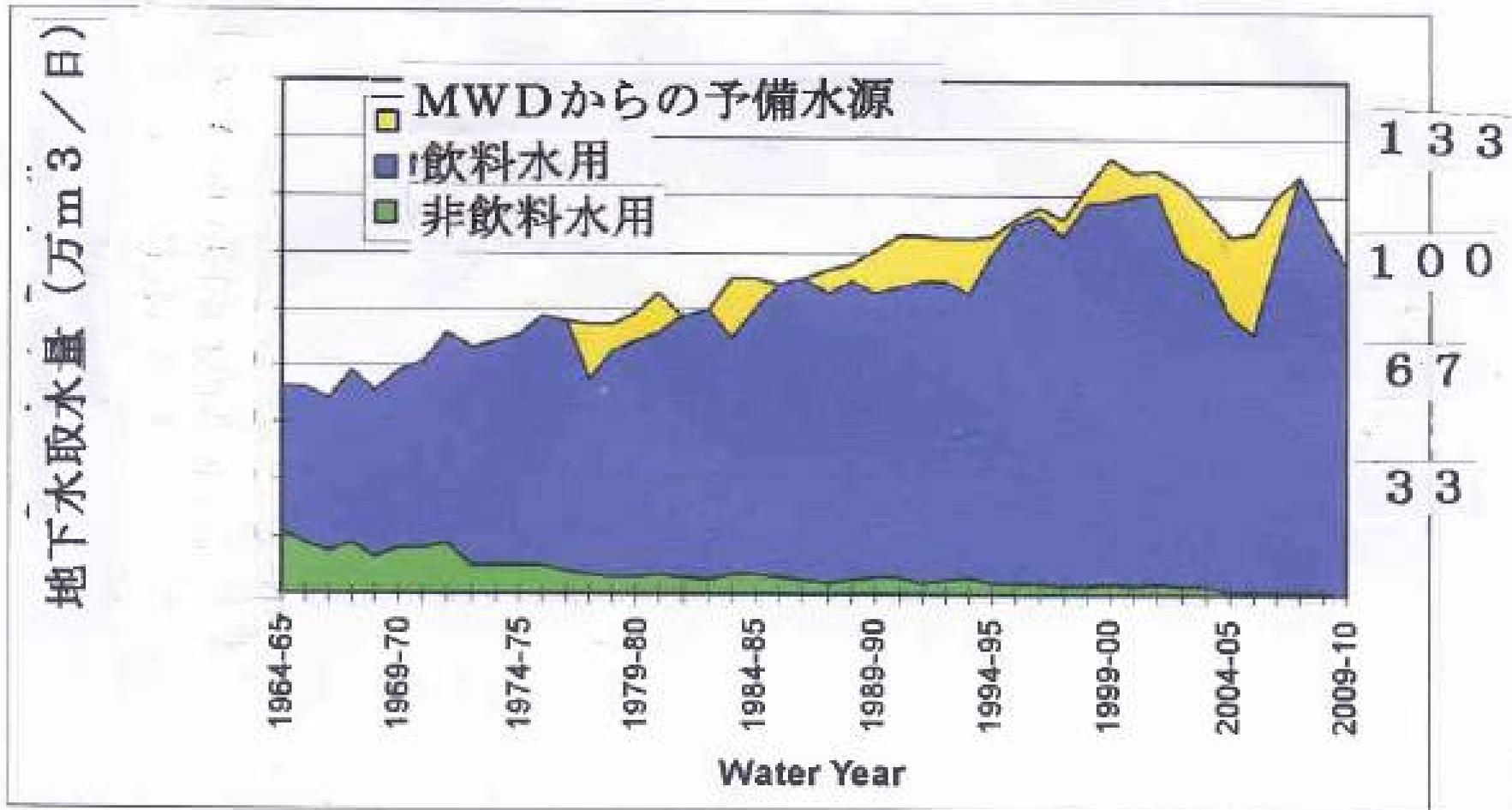
表一8 OCWDの飲料及び非飲料水の需要量(2009~2011年度)

年度	区分	地下水 (m <sup>3</sup> /日)	購入水 (m <sup>3</sup> /日)	サンチャゴ河川水 (m <sup>3</sup> /日)	高度処理水 (m <sup>3</sup> /日)	合計 (m <sup>3</sup> /日)
2009年度	飲料水	946,500	415,500	9,100	*	1,371,100
	灌漑用水	4,100	*	*	52,000	56,100
	合計	950,600	415,500	9,100	52,000	1,427,100
2010年度	飲料水	965,300	356,200	10,000	*	1,331,500
	灌漑用水	3,300	*	*	49,900	53,200
	合計	968,700	356,200	10,000	49,900	1,384,800
2011年度 (予測)	飲料水	952,000	412,000	10,000	*	1,374,800
	灌漑用水	6,700	*	*	49,900	56,600
	合計	958,700	412,000	10,000	49,900	1,431,000

注1: 2009年度の地下水には外部購入水量はゼロであったが、MWD経由でOC地域外の余剰水資源の購入がある。

注2: 高度処理水には海水浸入防止用水等は含まれていない。IRWDでの汚染地下水の浄化水やGWRS施設でMF膜ろ過水がグリーンエーカ計画で再利用されている水量は含まれている。

## OCWDでの地下水取水量の経年変化



**TABLE 1. Historical Groundwater Production Within OCWD**

## 7) 地下水過剰摂取の限度

- (1) 判断根拠: 地下滞水層の安全な取水計画と浸透水量
- (2) 通常の降雨量なら年間で、 **約33万m<sup>3</sup>／日迄過剰取水可。**
- (3) 地下滞水層が満水の場合、 **約145万m<sup>3</sup>／日迄過剰取水可。**
- (4) 不足する飲料水需要量が海水の浸入と地盤沈下が共に発生しない条件でMWD購入水道水で賄える場合、  
**約166万m<sup>3</sup>／日迄過剰取水可。**

● 常にコンピュータで地下水の流れを監視、滞水層の貯留量を計算。

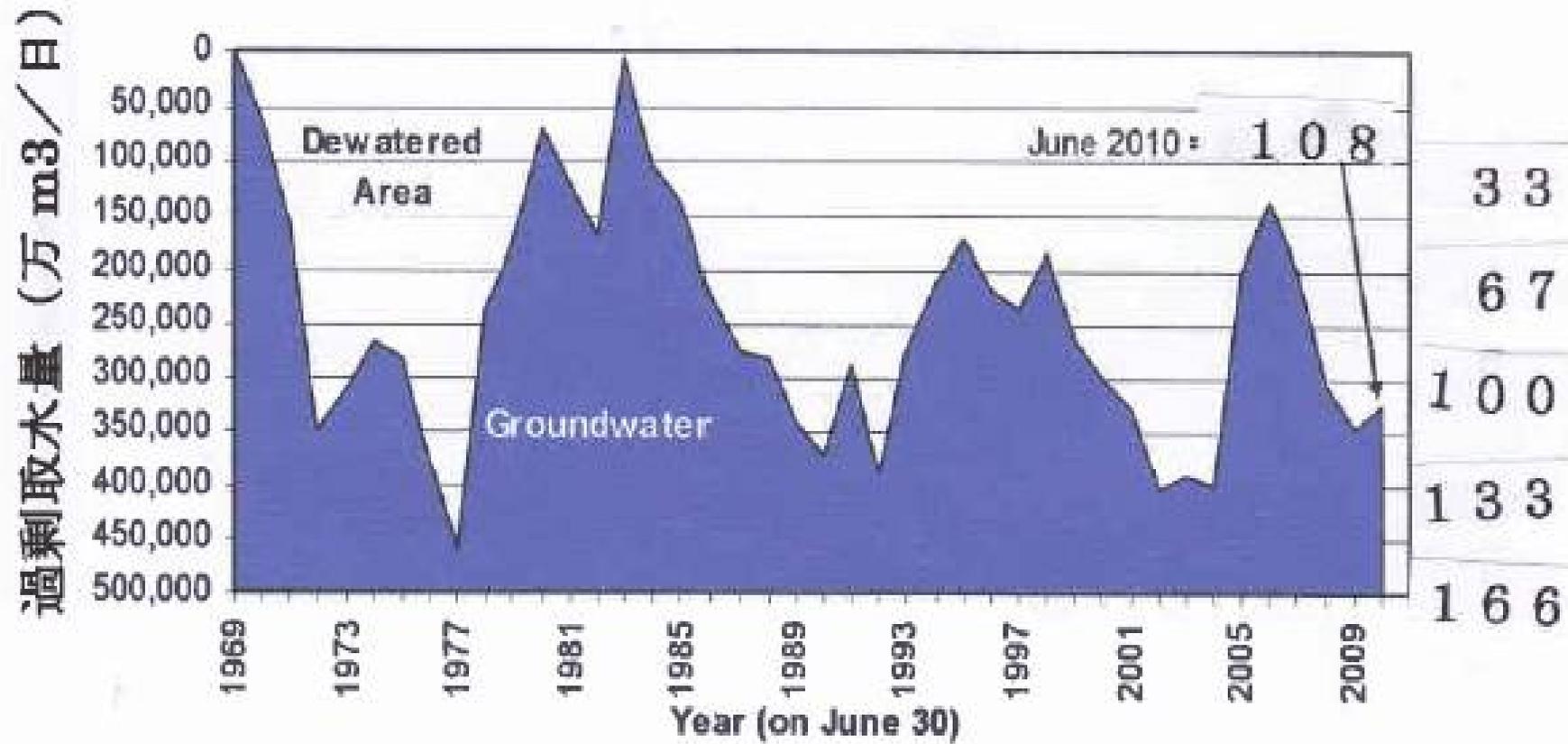
## 8) 将来の水道水需要量とその水源

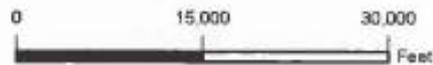
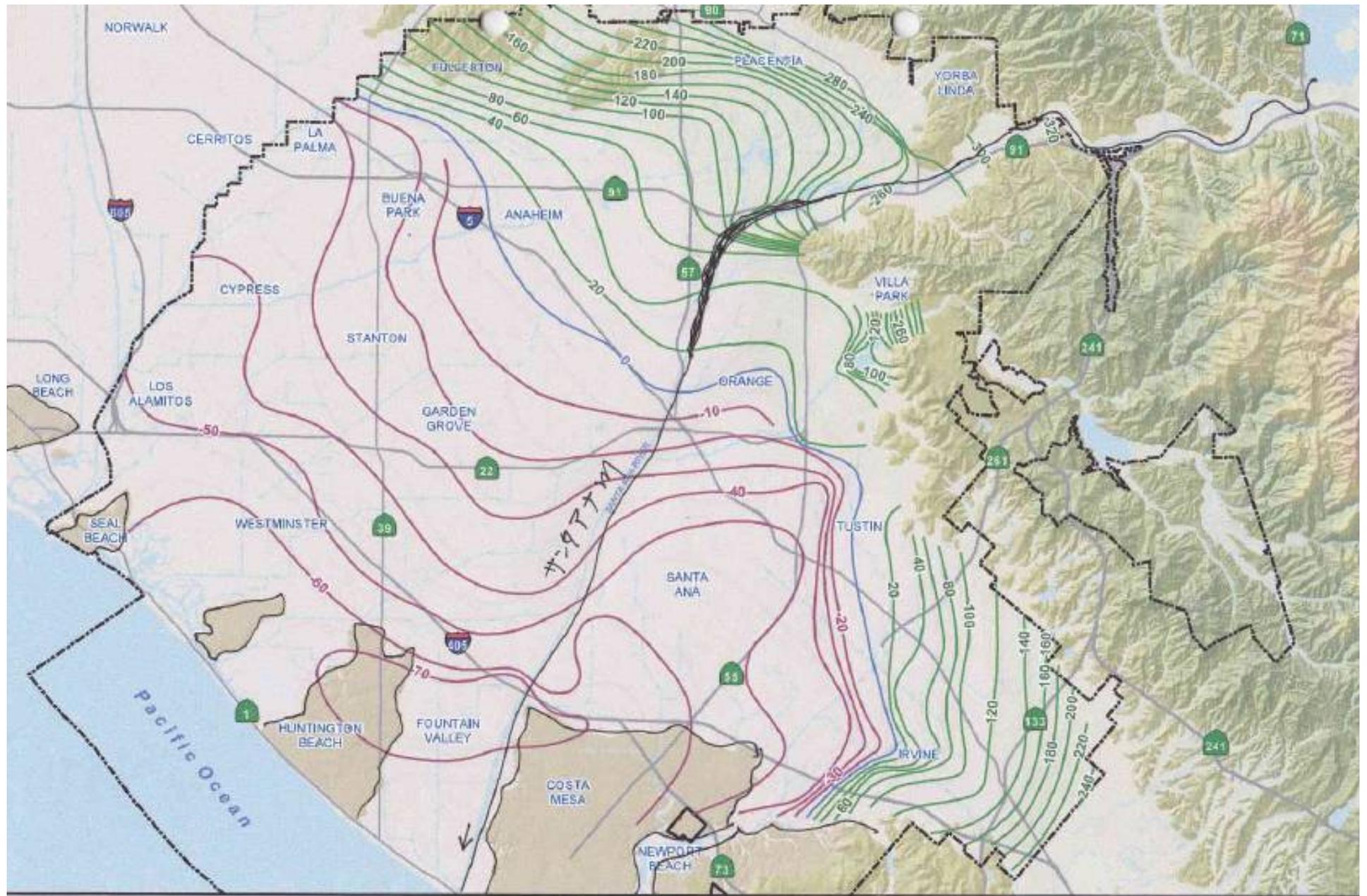
- (1) 需要量予測: 人口増加、経済状況、節水計画、気象条件
- (2) OCWDの全給水区域で**約180万m<sup>3</sup>／日。**  
**オレンジ郡全域で2035年に約246万m<sup>3</sup>／日(節水分を考慮)**
- (3) 依然として水資源不足状況。
- (4) ハード対応: 不足分を地下水、MWD購入水源、海水の淡水化水等。
- (5) ソフト対応: ハード対応不足分は**節水教育とPR等**による。

# 地下滞水層の水量管理目標



# 地下水過剰取水状況（1969～2010年度）

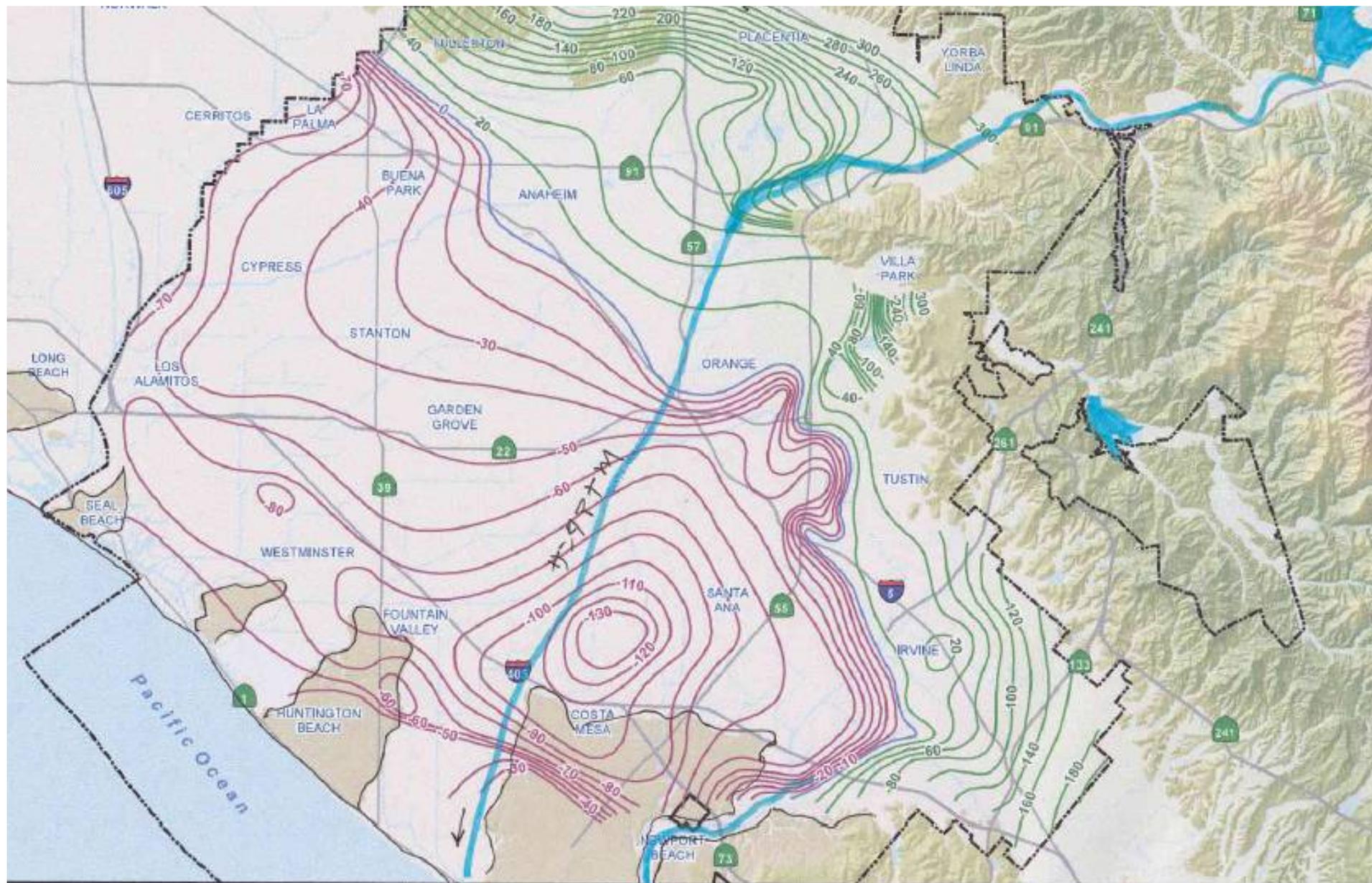




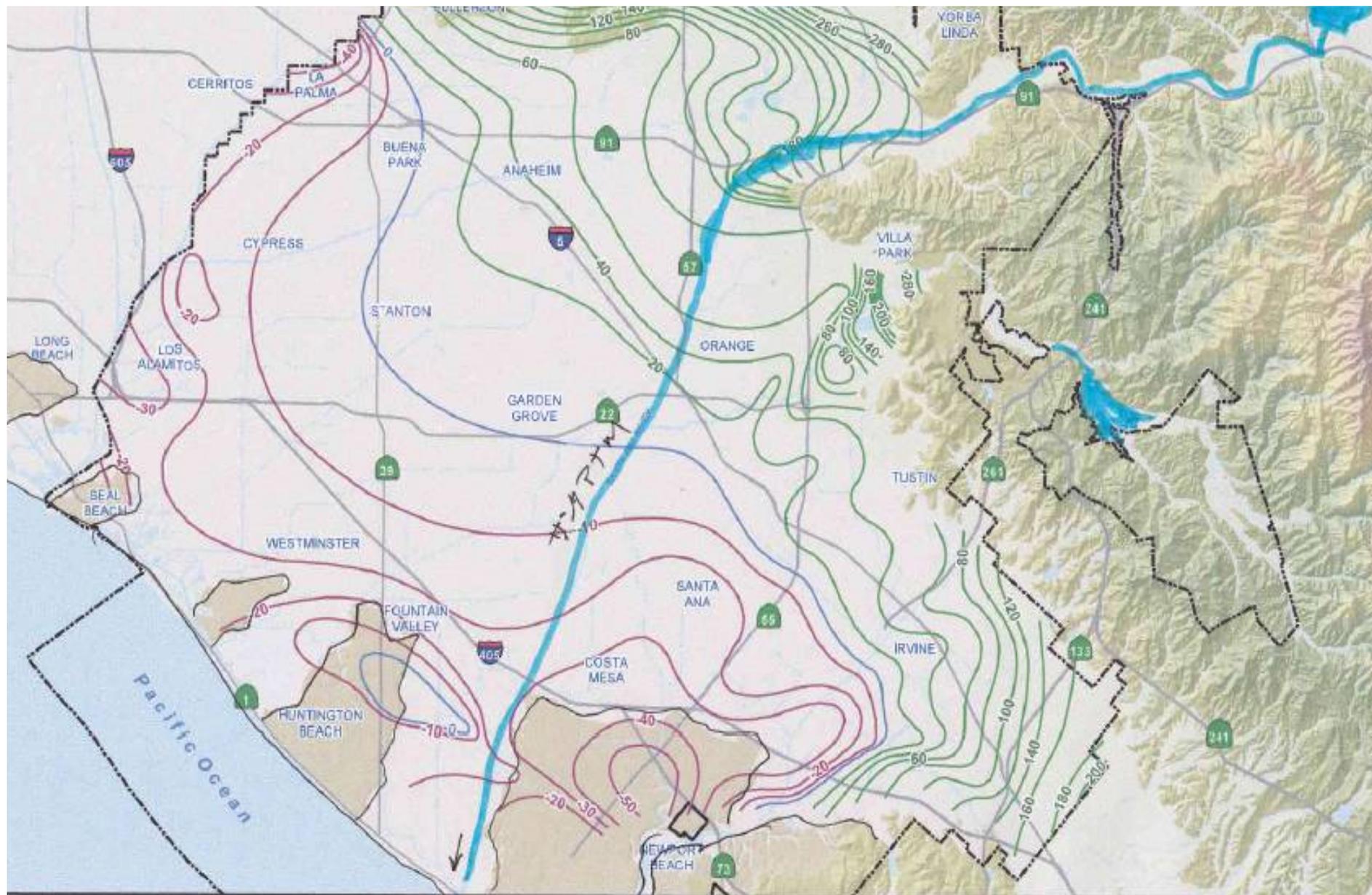
Groundwater Elevations (Feet, OCWDの地下滞水層の水位 (2004)

Groundwater Elevation Contours for the Principal Aquifer

- -70 to -10
- 0
- 20 to 240

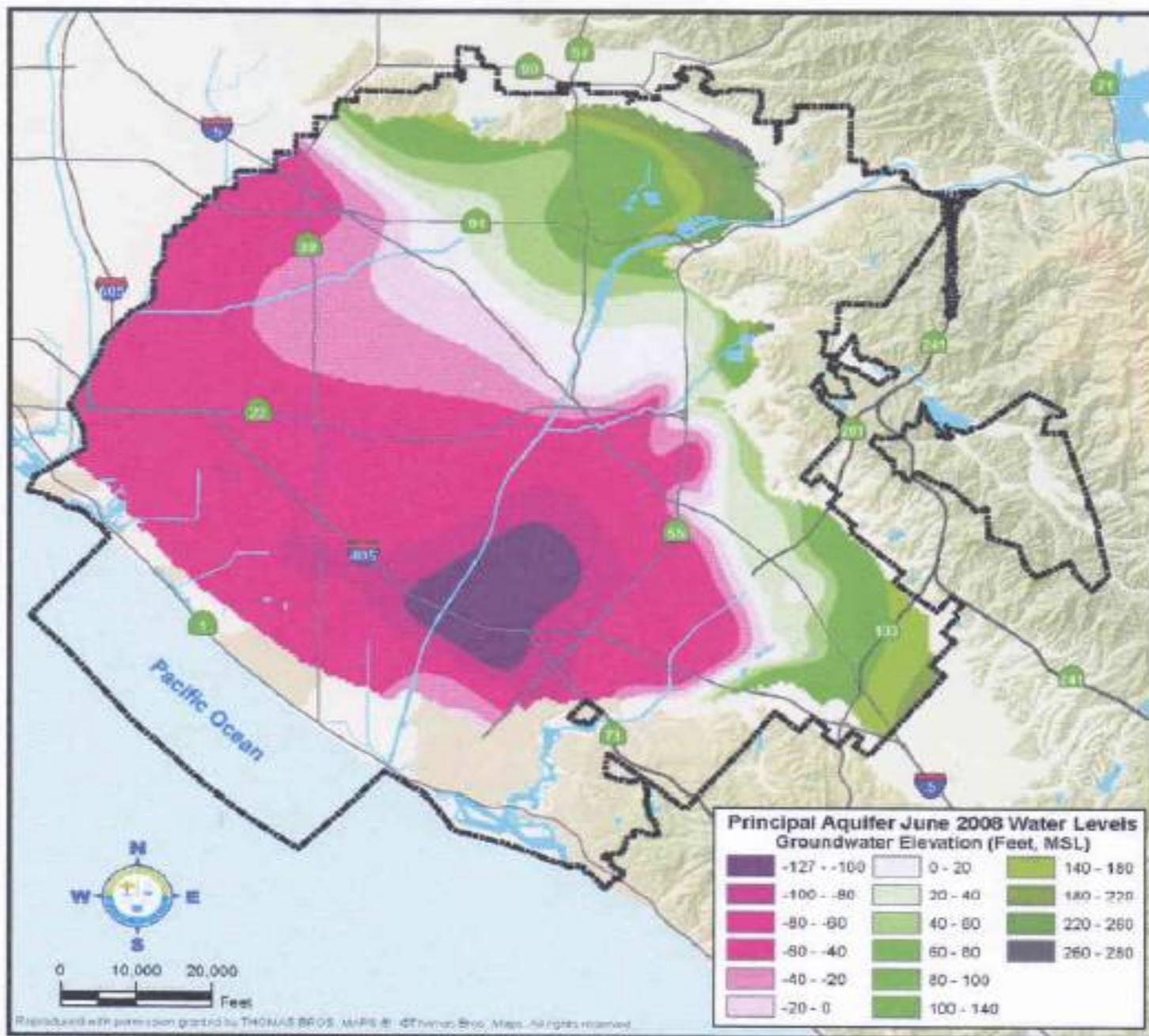


Groundwater Elevations (Feet, M) OCWDの地下滞水層の水位 (2008)

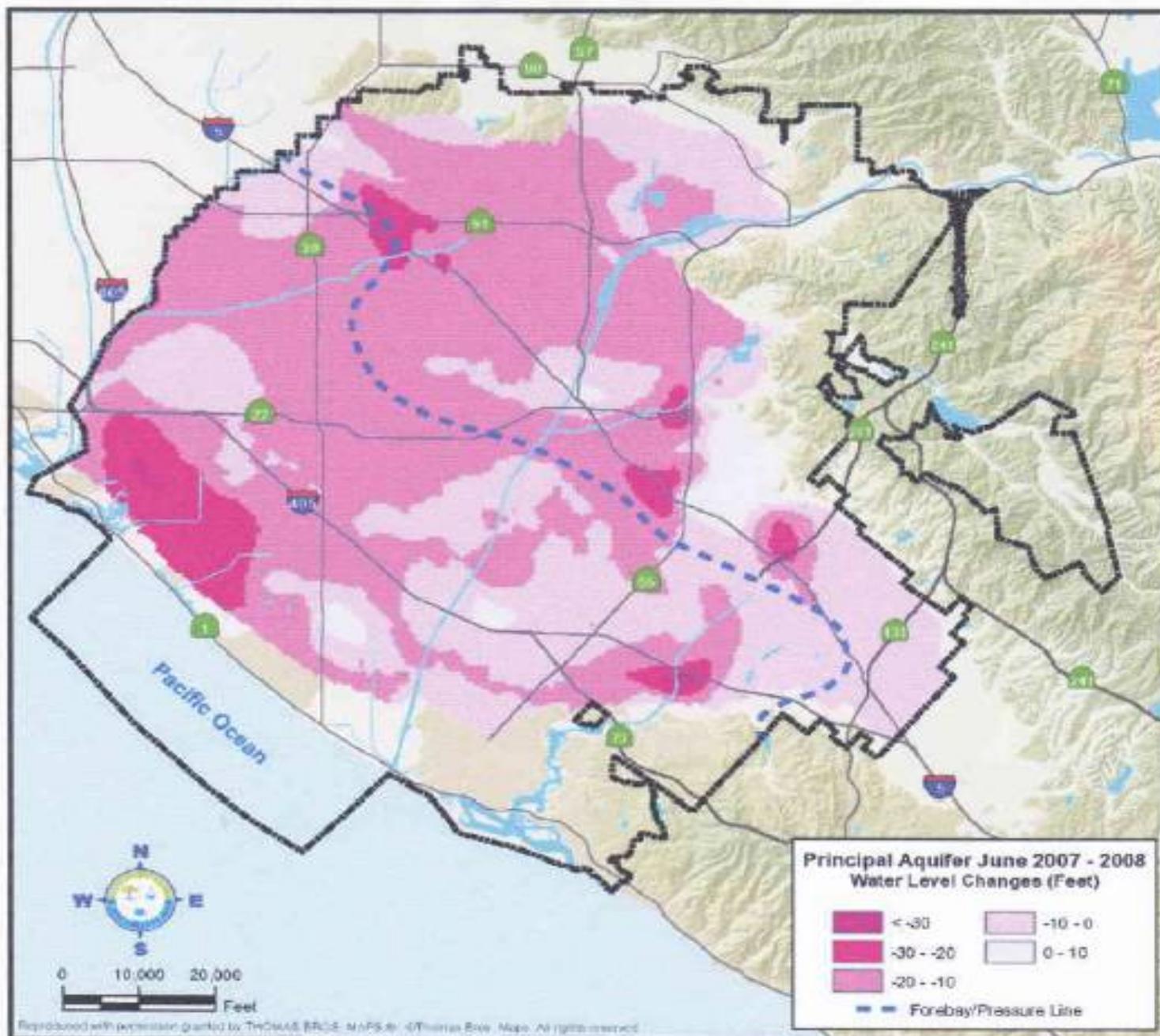


Groundwater Elevations (Feet) | OCWDの地下滞水層の水位 (2011年)

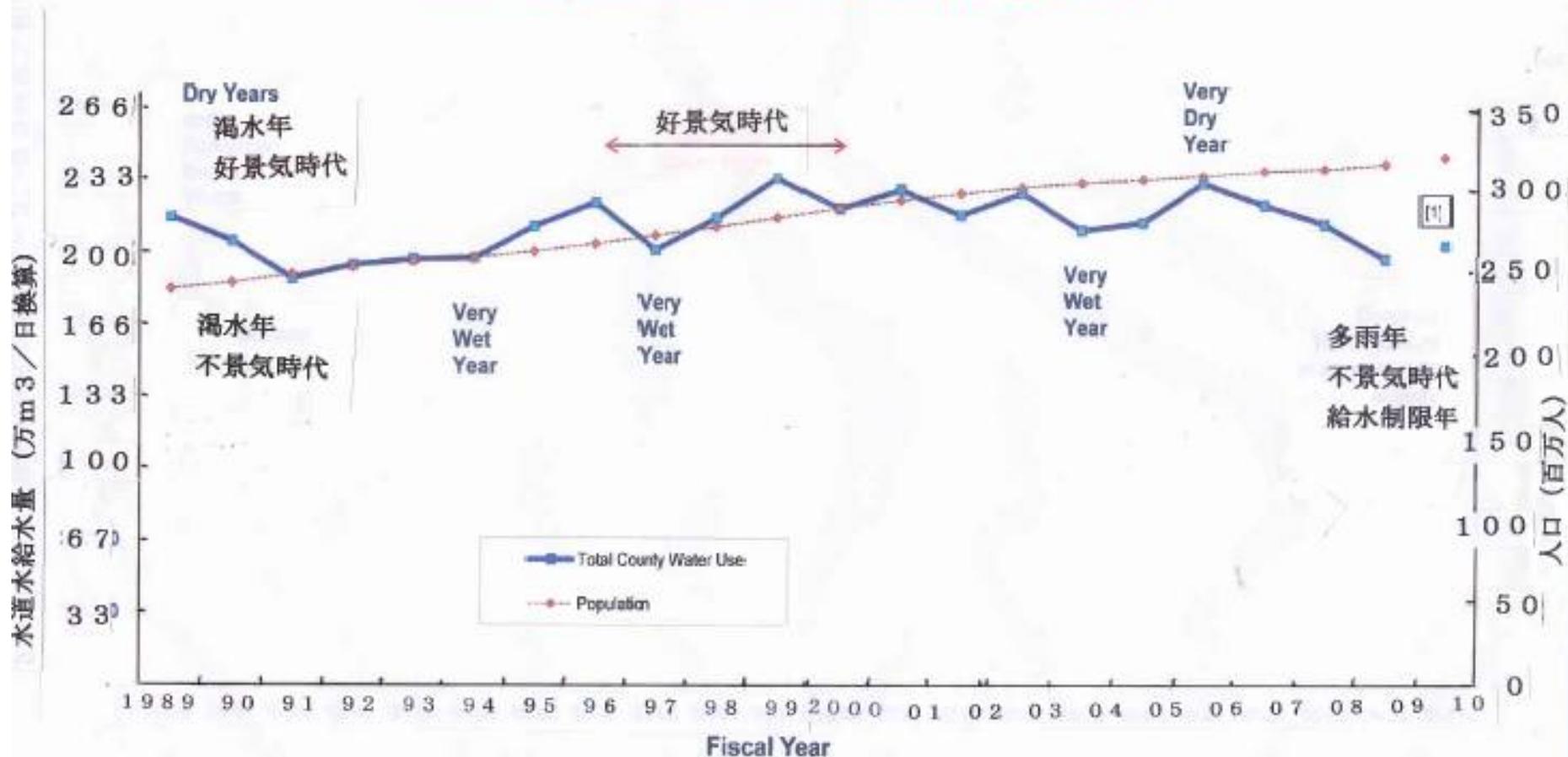
# OCWD内での地下水低下状況（2008年度）



# OCWDでの地下水位変化量（2007年度から1年間）



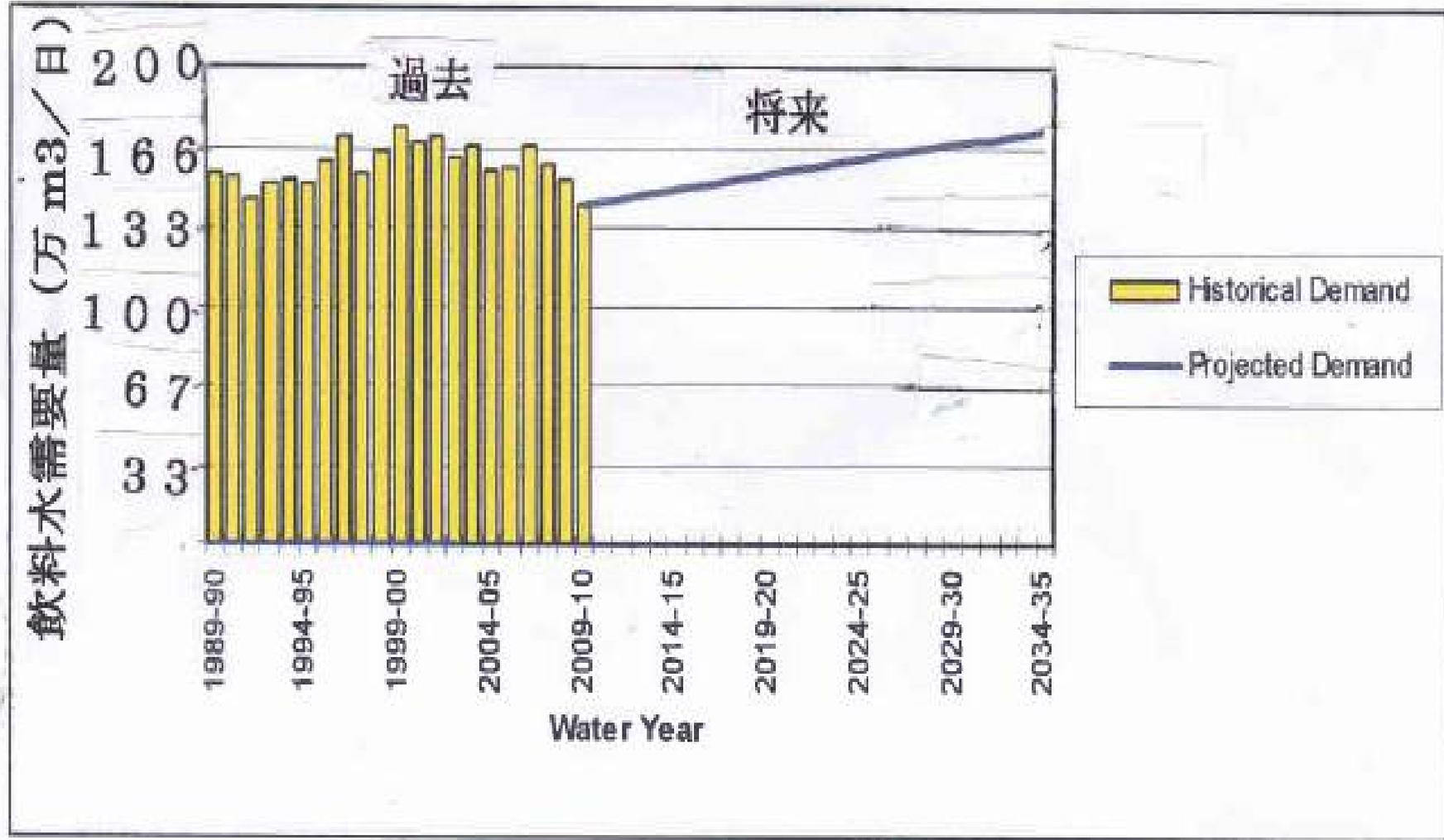
# Historical Water Consumption and Population in Orange County



01) Projections of FY 10-11 values.  
AF Acre-Feet

図-17 (3) オレンジ郡の人口と水道給水量の経年変化図

# 飲料水需要量の過去と将来計画（1989～2034年度）



## Potential Orange County Water Sources in 2035

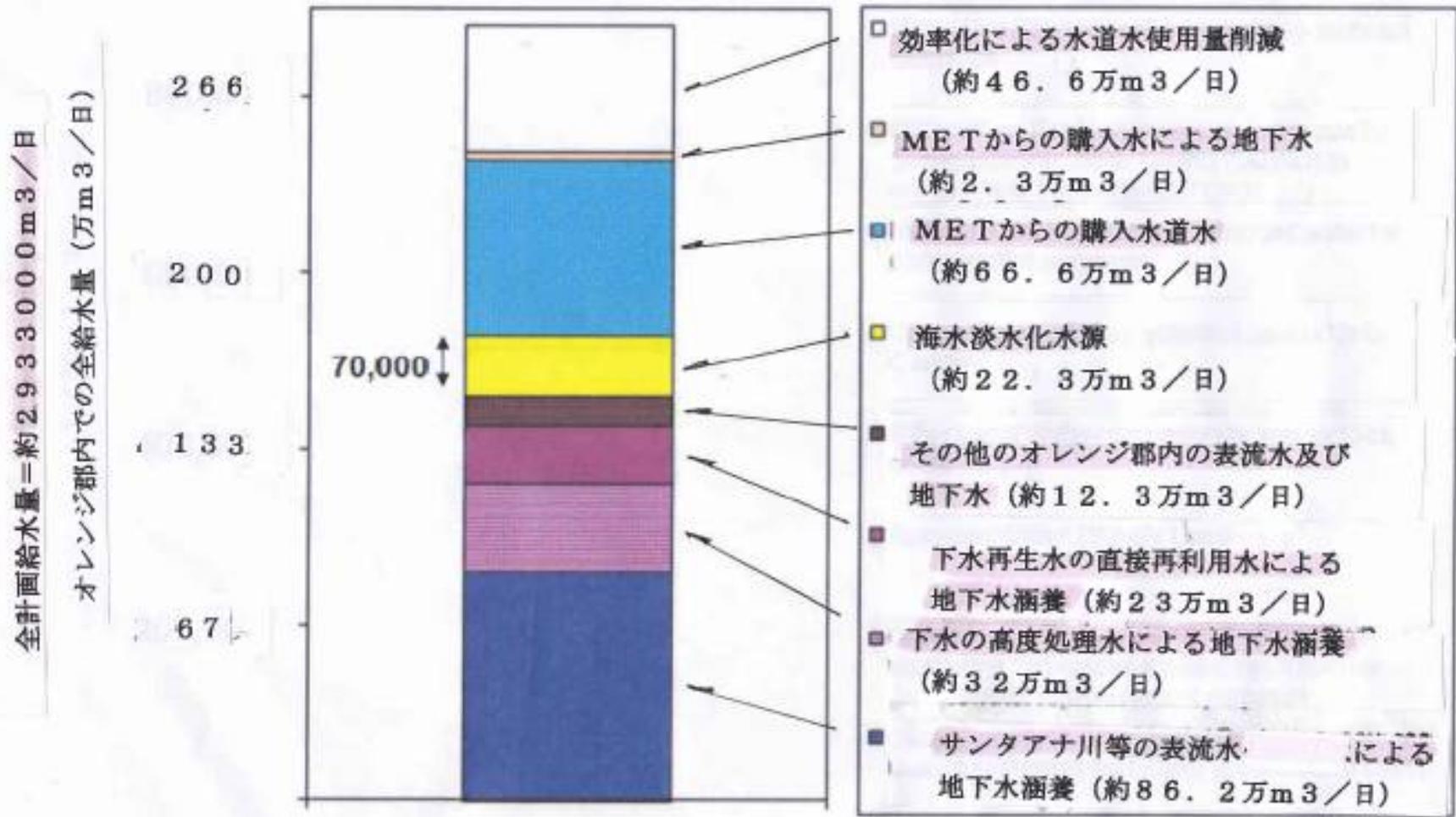


図-17 (4) オレンジ郡の2035年の水道給水量の水源別内訳

## 9) OCWDの市民等への節水に関する啓蒙活動・PR

- ① 自治会・地域リーダーへの説明会： 120回以上／年
- ② 施設見学会： 70回以上／年
- ③ 「子供水教育フェスティバル」： 水資源、水質汚濁、水のリサイクル、湿地帯保護等の環境問題を教え、学ばせる。  
(2013年3月にUCIで2日間開催、約7000人の小学生生徒が参加)
- ④ 「オレンジ郡水の英雄」： 76L／日の節水を目標に子供や親たちが挑戦し、チャンピオンの決定
- ⑤ 「オレンジ郡水101教室」： 地球規模の水資源問題、健康と水の問題、カリフォルニア州の特異な水資源問題、オレンジ郡の水道水供給の将来の問題と挑戦、行政の各種取組など
- ⑥ ホテル・モーテルでの節水キャンペーン：  
タオル・シーツの取り換え回数制限
- ⑦ 「オレンジ郡水サミット」： 400人以上の専門家でカリフォルニア州の水資源への挑戦を議論、
- ⑧ 「地下水資源保全チーム」の結成： 水道水についての教育と情報を与える地域活動に地下水資源保全チームがアドバイスを与える。

## 第5節 地下滞水層の保全

### 1) 水量管理

- ・ 用地の購入： 浸透池水面等のための広大な敷地の購入・整備
- ・ 水平迂回路： 晴天時河川水の流下滞留時間の増大
- ・ プラドダムの活用： 雨天時河川水を出来る限り貯留
- ・ **池底の浚渫**： 浸透速度低下防止。2種類の浚渫方法。
- ・ 過剰取水の防止： 地下滞水層保全のためにMWDからの河川水を暫定的に止む無く購入を促進する(コスト検討、**微妙**)。
- ・ 地下水位低下の防止： 浸透量と取水量のバランスの常時把握。
- ・ **コンピュータモデル**の導入で地下水管理： 土質、地域境界、地下水位、降雨、  
・ 次年度の取水量、過剰取水量の決定。

### 2) 地下水総合管理： 浸透水量とポンプ取水量

- ・ 持続可能な状態で地下水を保護し、かつ、浸透水量の予測から取水量を増加。
- ・ **リサイクル水量の増加**
- ・ 節水思想の普及： 市民、小学生、
- ・ 水資源の融通性： MWDが管理
- ・ 地下浸透量と取水量のバランス

- OCWDの地下水総合管理は規模と技術レベルから世界的に有名である。

### 3) 水質管理

#### ● 緻密なモニタリング計画と実施

#### ① 清浄な第2帯水層の水質保全

- ・ 重要な水質項目： TDS, 塩分、硝酸性窒素、色度、有機化合物、
- ・ 第1及び第3帯水層の汚染地下水の第2帯水層へ移動阻止。

#### ② 汚染地下水の浄化：

- ・ 第1及び第3帯水層中の汚染物質の浄化
- ・ その浄化水の有効利用(水道水、灌漑用水、地下水涵養用水等)

#### ③ 発がん性物質の監視と処理

- ・ NMDA, 1, 4-Dioxane

#### ④ 地下水汚染物質の除去： 活性炭吸着法、UF及びRO膜ろ過法、

#### ⑤ ガソリンスタンドなどの燃料タンクからの漏油対策

#### ⑥ 有害物質の規制

#### ⑦ プラドダムでの窒素の除去： 生物学的硝化脱窒法

#### ● 水質分析結果の公表： 関係規制機関、市民

## 4) モニタリング

### (1) モニタリング項目

- ポンプ取水量、地下滞水層での貯留水量、地下水位、地下水質：汚染地下水(塩分、TDS等)の把握。

### (2) 管理

- 地下滞水層から適切な年間取水量の推定
- 滞水層の水位と海水侵入量の推定及び圧力注入水量の把握
- 地下滞水層の地下水汚染の把握とその対策
- 法律整備による地下滞水層の管理の裏付け

### (3) データの収集・管理

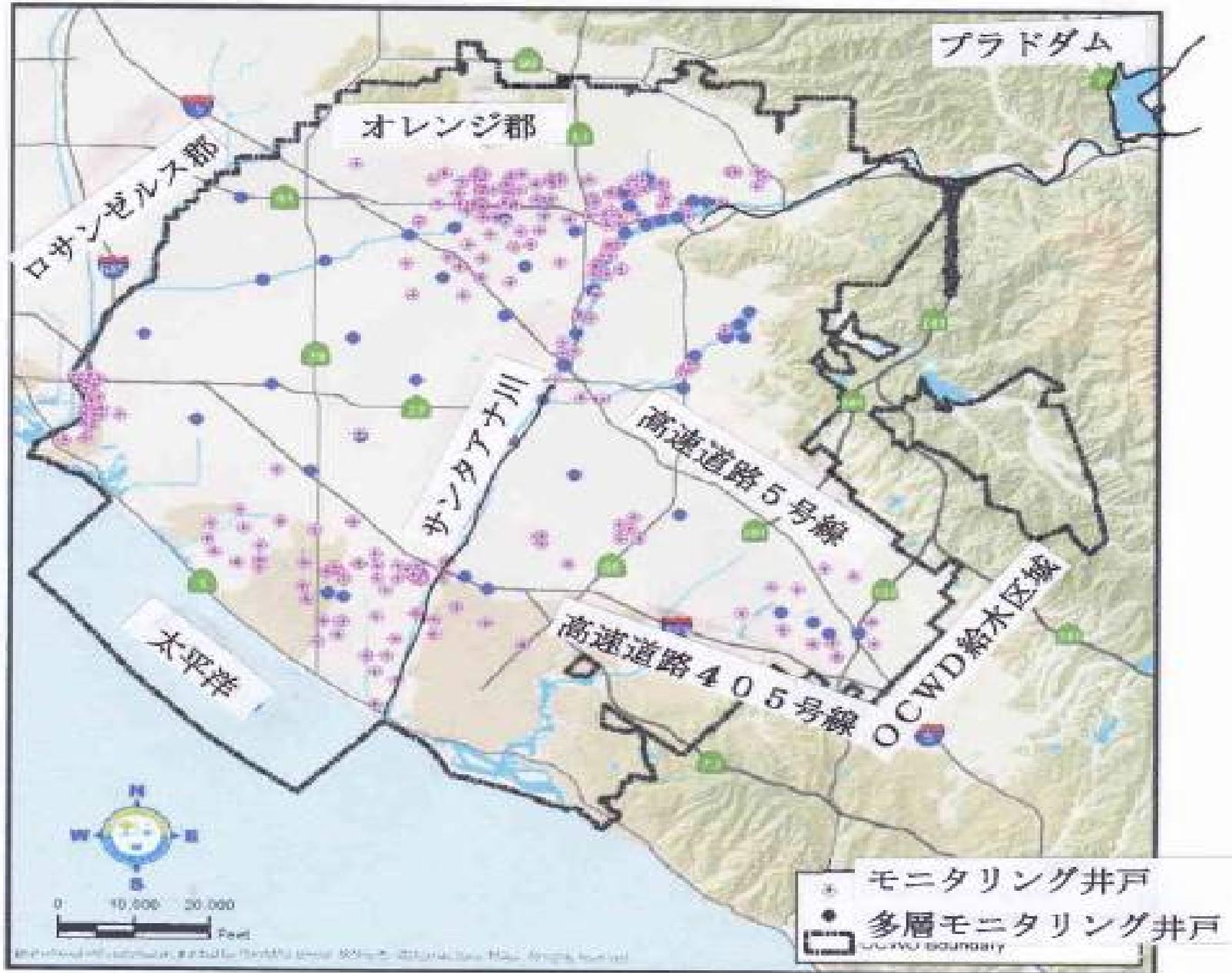
- ポンプで地下水を取水する企業等はポンプ井毎に、取水量を毎月OCWDに報告する義務あり。
- コンピュータモデルの導入管理

- ・ 取水量の総合管理： 井戸番号、井戸の深さ、スクリーン目開等
- ・ 飲料水用井戸 = 228か所(主に第2滞水層)
- ・ 工業用水用井戸 = 123か所(第1滞水層)
- ・ モニタリング用井戸 = 254か所(最深部は約600m)
- ・ 海水侵入防止観察用井戸 = 93か所

#### (4) 水質分析

- ・ サンプルング数： 約14000個(2008年度)
- ・ 水質規制項目： 100項目以上(EPA, CDHの規制項目)
- ・ 海水の地下滞水層へ浸入量の把握と対策
- ・ サンタアナ川流域の水質分析： 河川水等の地下滞水層への悪影響を推測し、その対応策を講じる。
- ・ MWD購入水の分析

# モニタリング井戸箇所



# TDS IN GROUNDWATER PRODUCTION WELLS

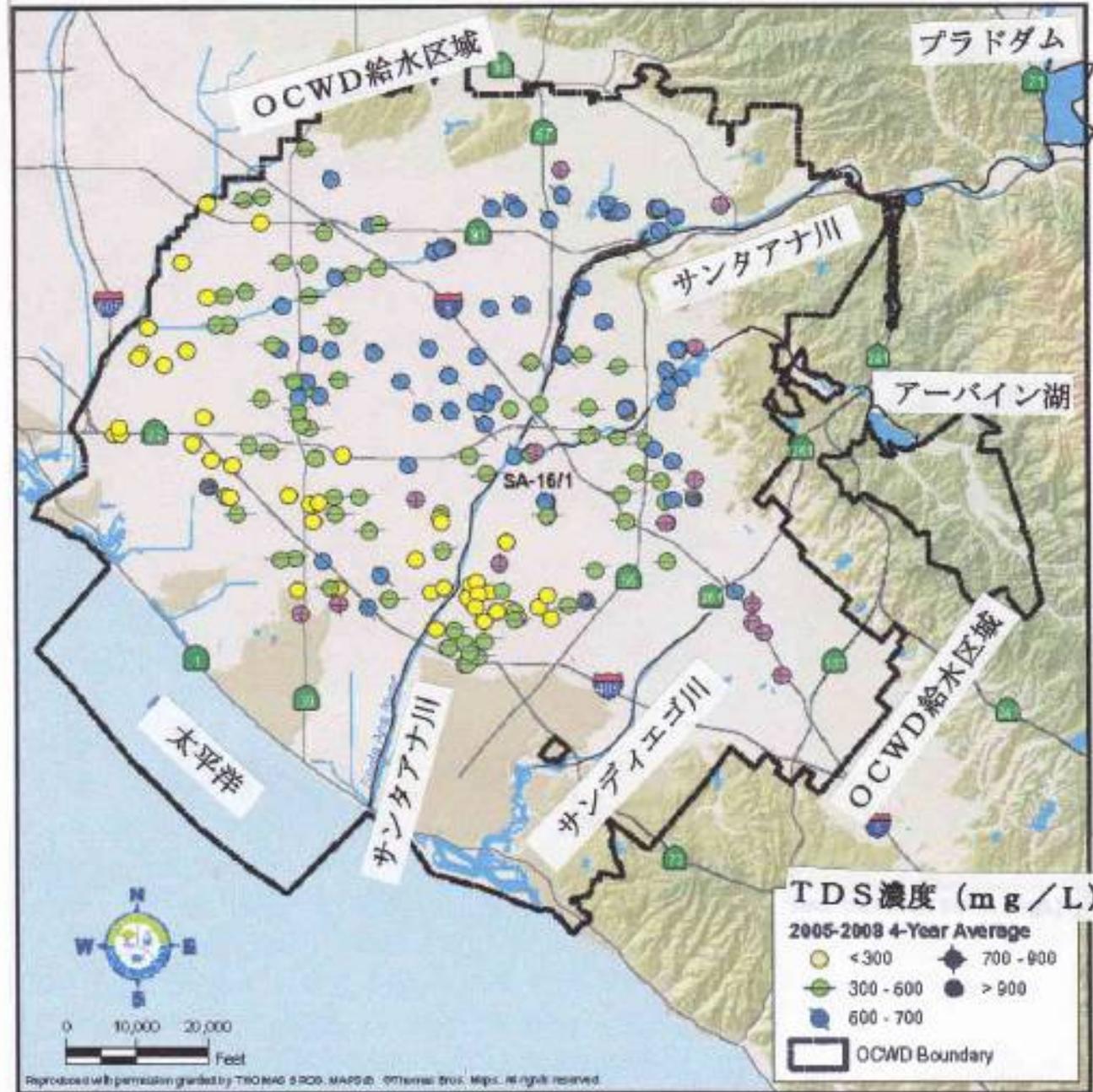
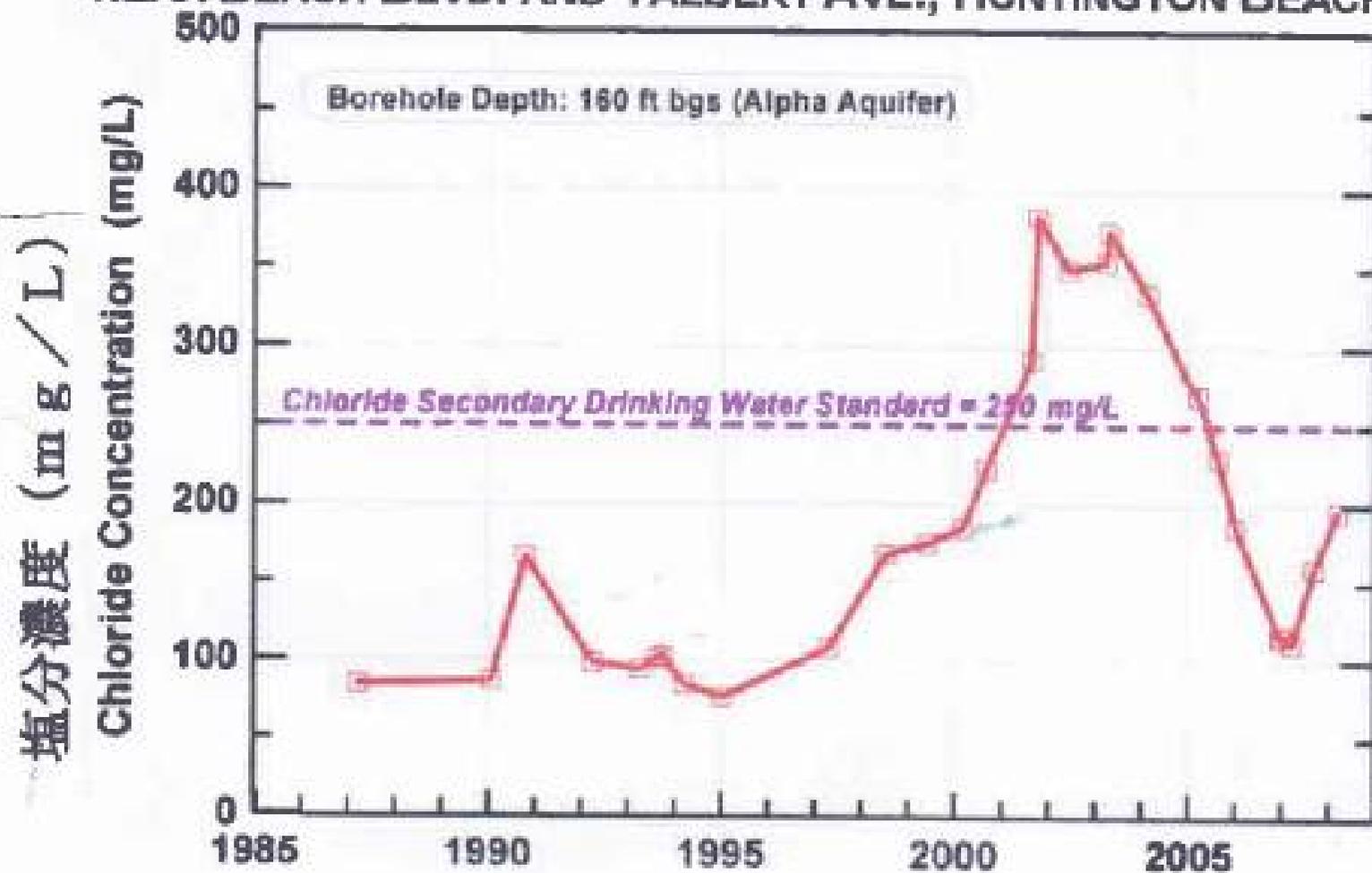


表-12(2) オレンジ郡水道組合(OCWD)地域の地下水質と水道水質(2010年度)

自治体又は水道組合	地下水質(mg/L)			水道水(mg/L)		
	TDS	NO3-N	硬度	TDS	NO3-N	硬度
アナハイム市(34.5万人)	556	2.9	330	528	2	290
フラトン市(13.6万人)	600	3.3	331	554	2.2	288
ハンチントンビーチ市(20.1万人)	335	0.2	173	394	0.2	191
アーバイン水道組合	324	0.3	106	351	0.3	125
メサ連合水道組合	362	0.3	134	397	0.3	159
サンタアナ市(35.2万人)	397	2.2	233	426	1.5	228
シールビーチ市(2.5万人)	219	ND	81	312	0.1	130
セロナ水道組合	673	1.5	376	633	1	350
タスティン市〔7.1万人〕	648	6.9	371	607	5.4	336
ヨーバリンダ水道組合	647	2.4	342	570	1.4	285
加重平均 (OCWD地域人口:220万人)	449	2	243	460	1.4	235

# EXAMPLE CHLORIDE CONCENTRATION TREND CHARTS DOMESTIC WELL LIBM-HB

NEAR BEACH BLVD. AND TALBERT AVE., HUNTINGTON BEACH



MONITORING WELL OCWD BSO-2/1  
BOLSA CHICA AREA, NEAR WINTERSBURG CHANNEL

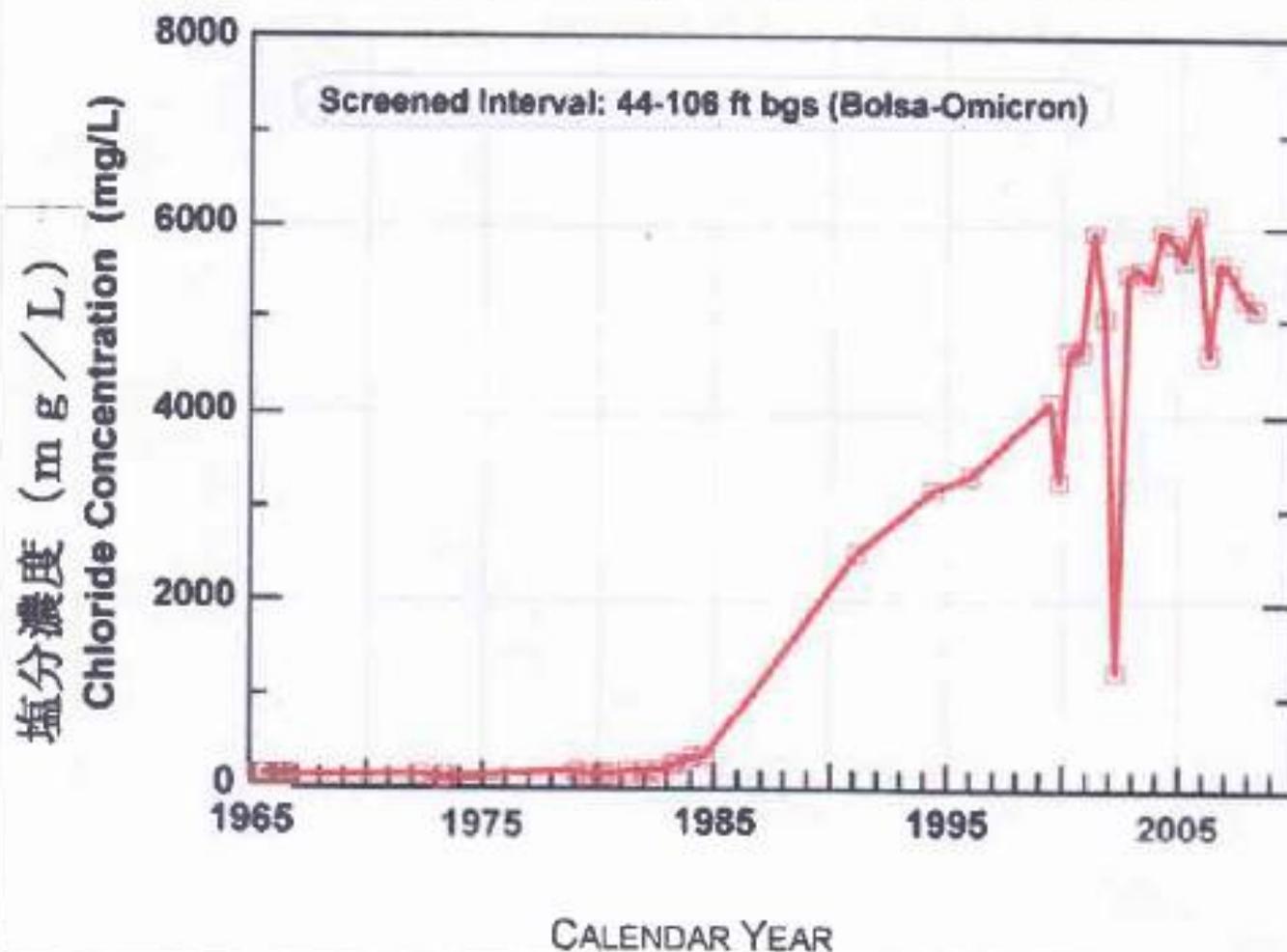


図-21 (4) モニタリング井戸の塩分濃度の経年変化

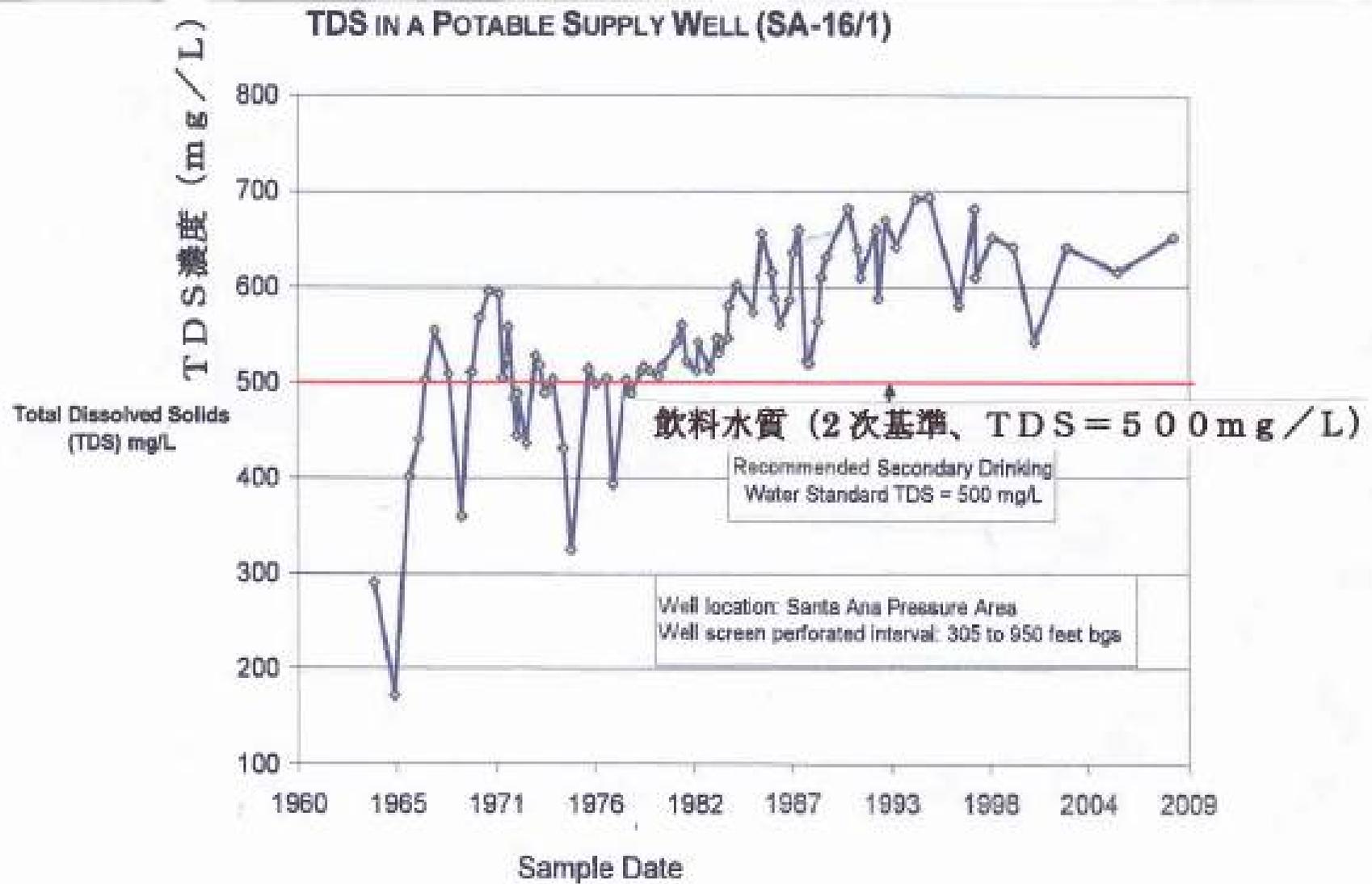
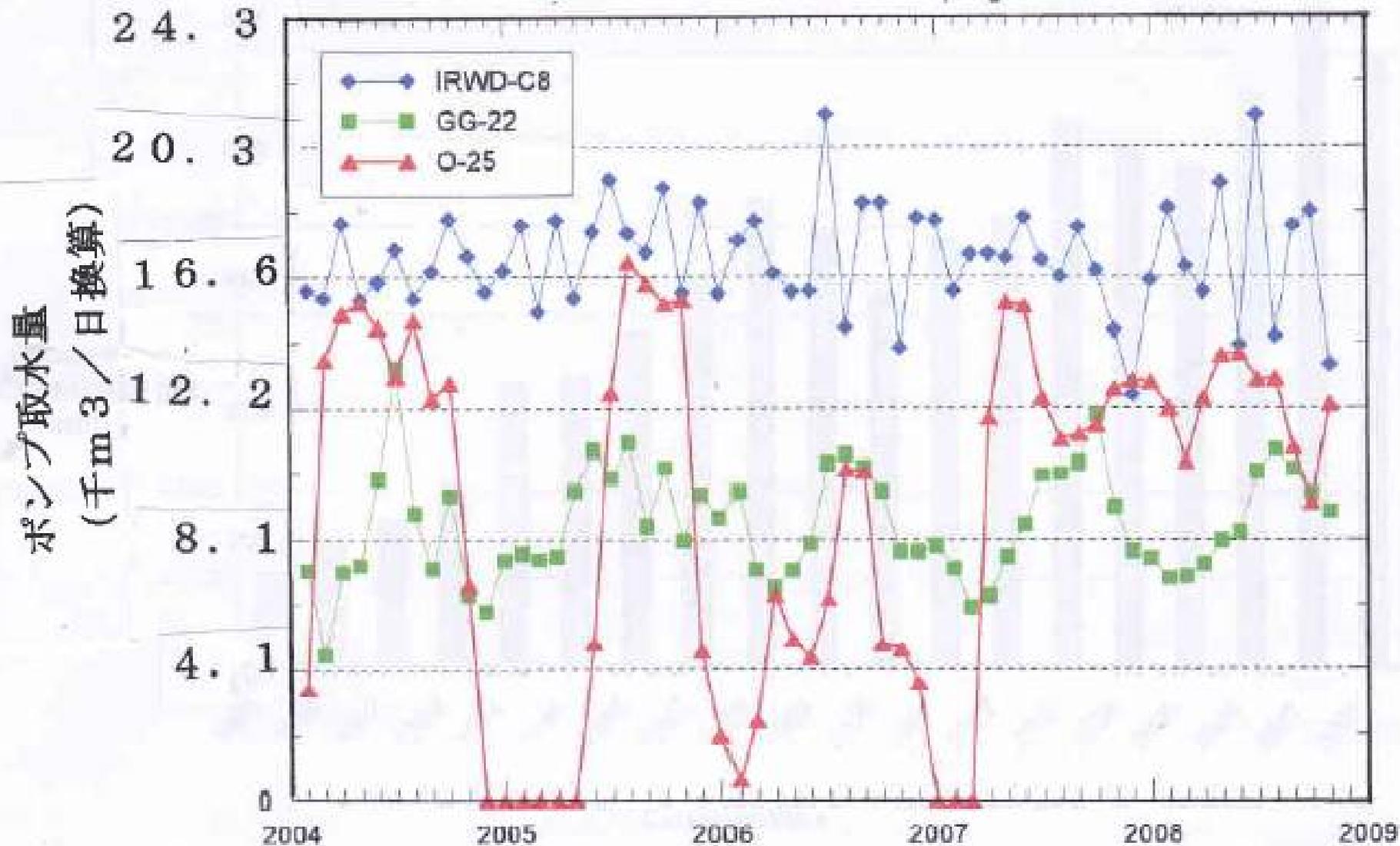


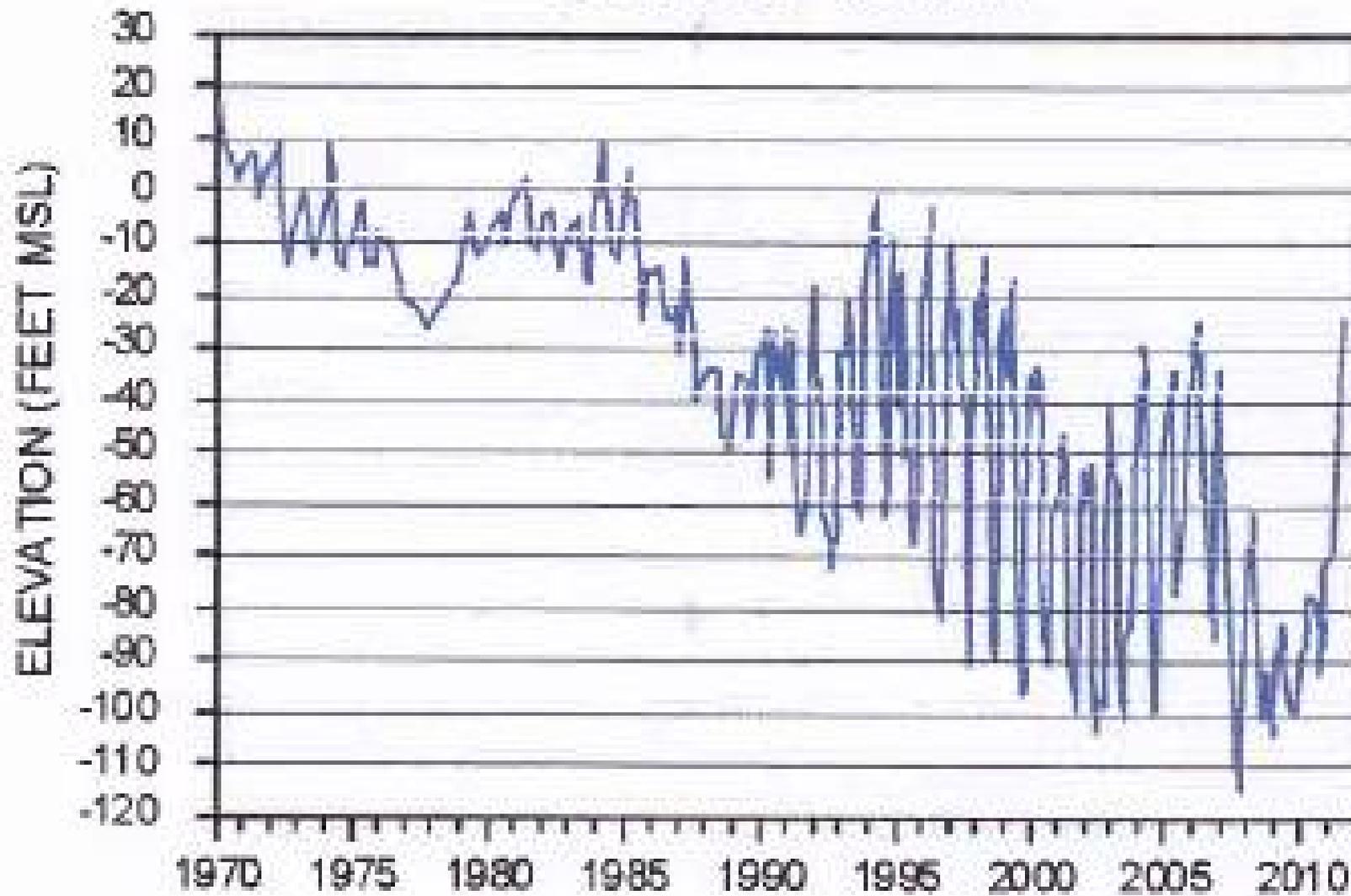
図-21 (7) 飲料水中のTDS濃度の経年変化

# 地下水ポンプ取水量の季節変化

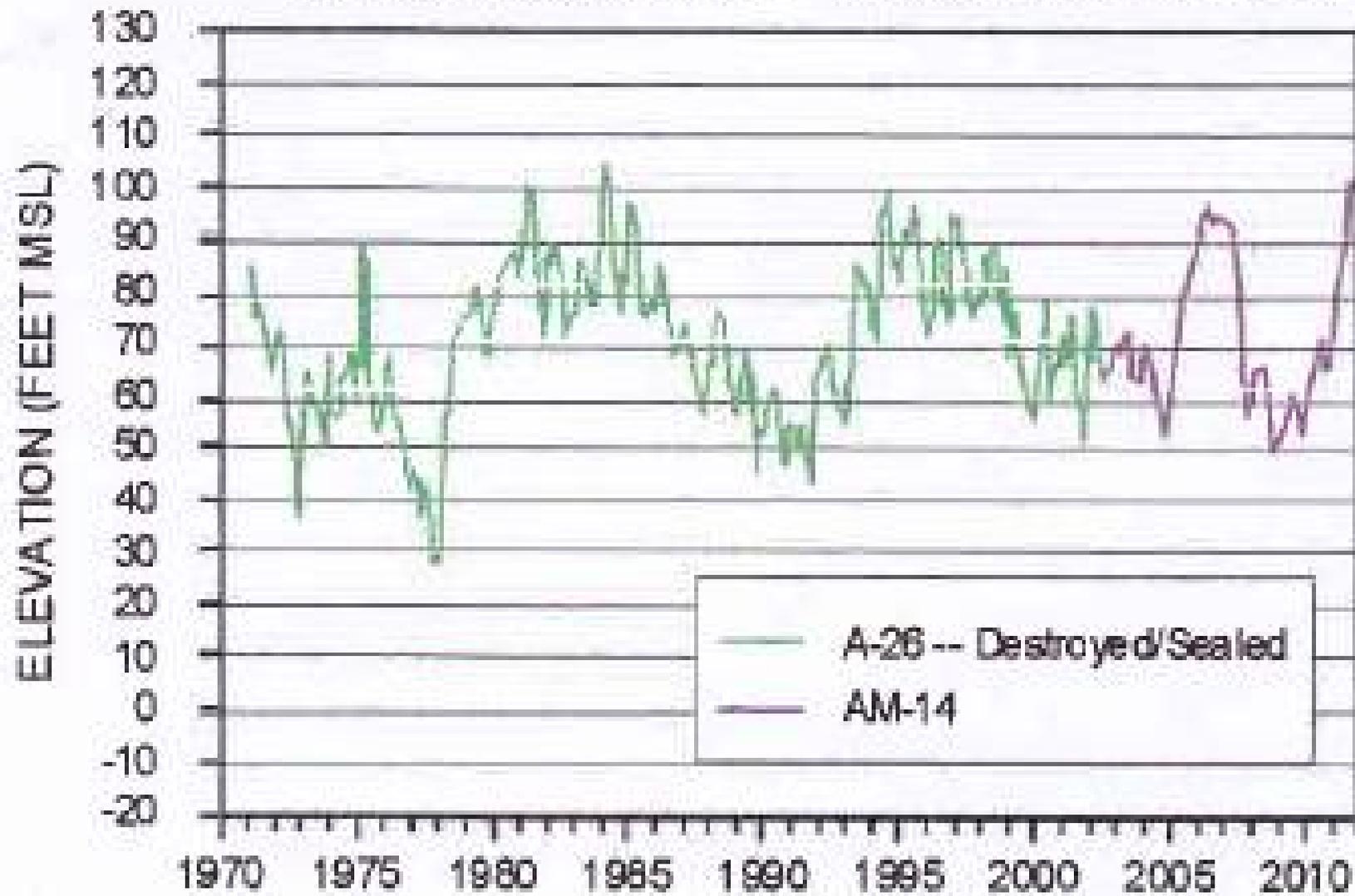


# COS-PLAZ

## 05S/10W-35K01



**A-26**                      **AM-14**  
**04S/10W-01F01**      **04S/10W-01P02**

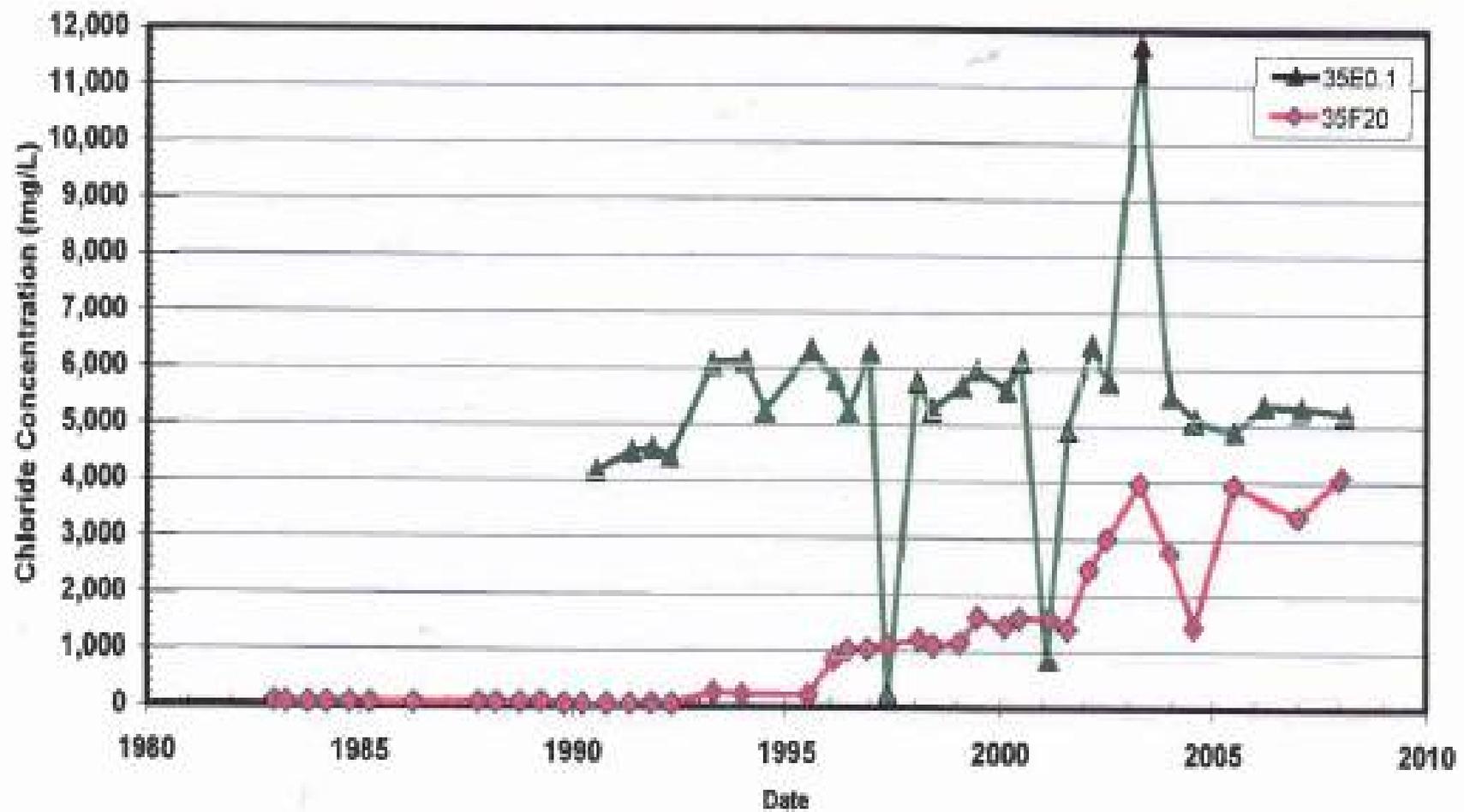


# アラミトス断層部での塩分濃度の変化

ORING

## WELLS 35E01 AND 35F20

(Well locations shown on Figure 1)



## (5) 地下水質汚染防止計画

目的 : 1987年の深刻な渇水による地下水汚染対応として策定した。即ち、汚染地下水をポンプ取水して汚染物質を除去した浄化水を灌漑用水や地下水涵養用水に再利用することで、水資源不足量を縮小し、清浄な地下水への汚染を防止すると共に、市民、地下水取水業者・規制当局に**地下水問題**を知らせることである。

### 具体的な対策

- ① 地表水・地下水のモニタリング
- ② 汚染物質の同定、その除去方法の開発
- ③ 毒性・有害物質の滞水層への浸入規制: **揮発性有機化合物(VOC)、発がん性物質、ベンゼン、トルエン、エチールベンゼン、キシレン、過塩素酸塩等**
- ④ 有害汚染水の管理計画の策定
- ⑤ 市民への情報公開
- ⑥ 地下水汚染防止計画の評価
- ⑦ 土地利用計画と開発: ガソリンスタンド、工場
- ⑧ 塩分管理: GWRS施設での塩分除去量は約47000トン/年
- ⑨ 環境破壊物質: **脱臭剤、防虫剤、ステロイド剤、内分泌混乱剤等**

## A) 硝酸性窒素等：過去の農業用水による汚染

- ・ 調査：モニタリングから汚染地域の確定
- ・ 処理法(1)：河川水中の窒素はプラドダム湿地帯で**生物学的硝化・脱窒反応**で処理する。
- ・ 処理法(2)：地下水中の窒素に対しては**RO膜ろ過法**。

## B) 有機溶媒(VOC)による汚染：

- ・ トリクロロエチレン、MTBE等
- ・ 最初は飛行場で使用した有機溶媒が1970年代に地下に漏えい。
- ・ 現在は第1及び第2滞水層に拡散中
- ・ MTBEはガソリンへの鉛添加代替物質で、それが地下タンクから滞水層に漏出。
- ・ 飲料y水質基準2次規制値で、**5 $\mu$ g/L**
- ・ 処理法：粒状活性炭吸着、AOP法、

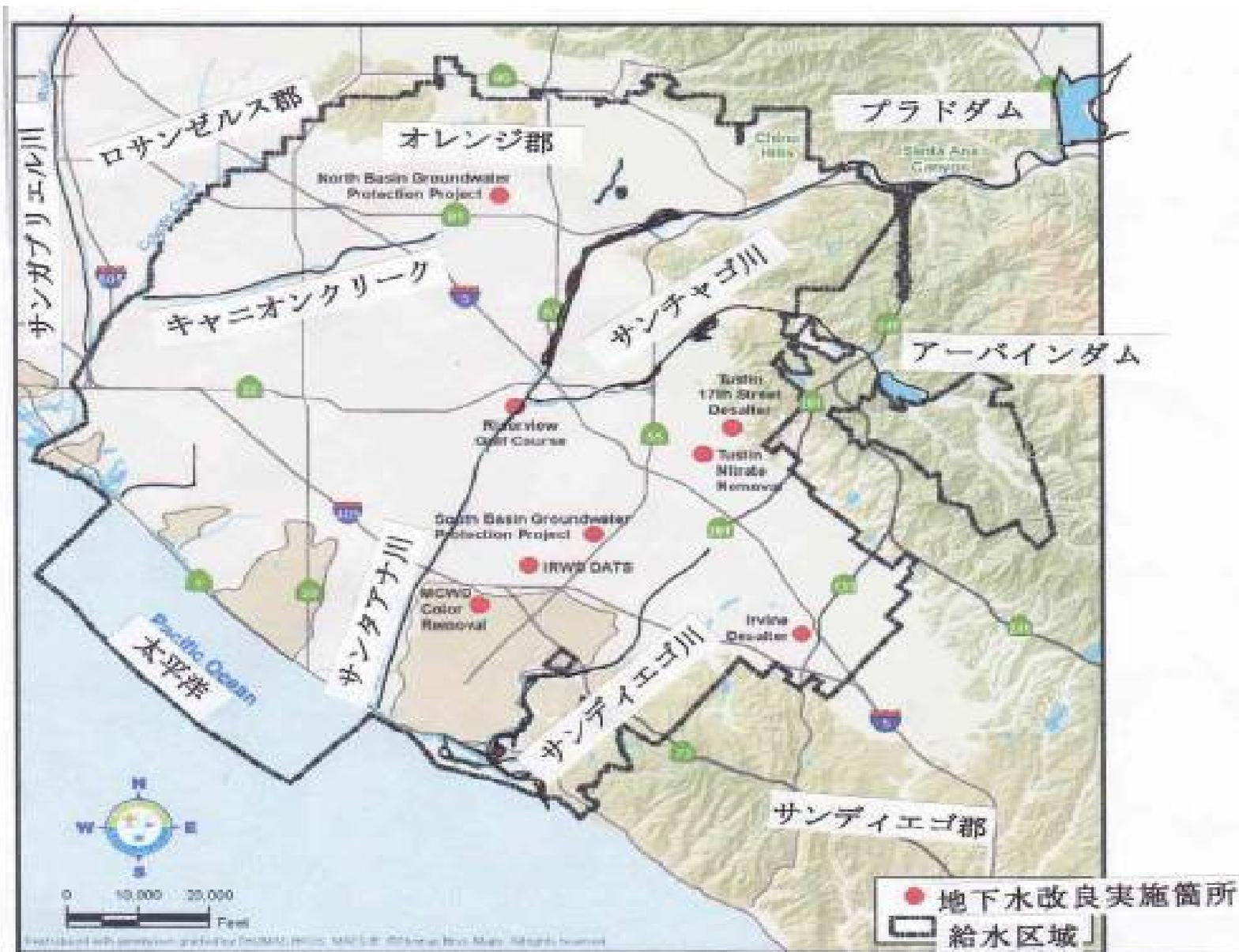


図-22 (1) 地下水質改善計画箇所 (8箇所)

### SOUTH BASIN GROUNDWATER PROTECTION PROJECT

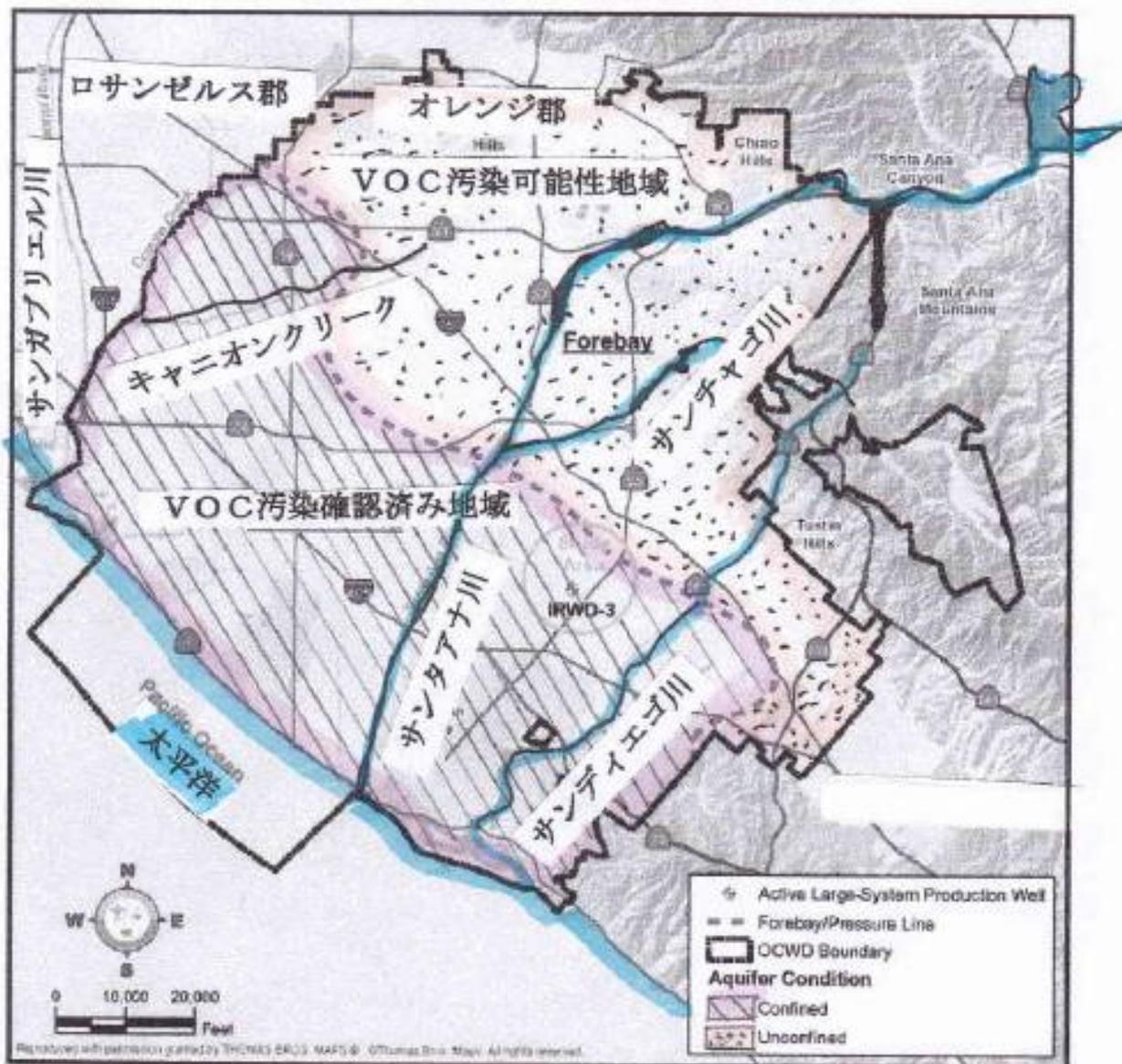


図-31: 揮発性有機物汚染地域

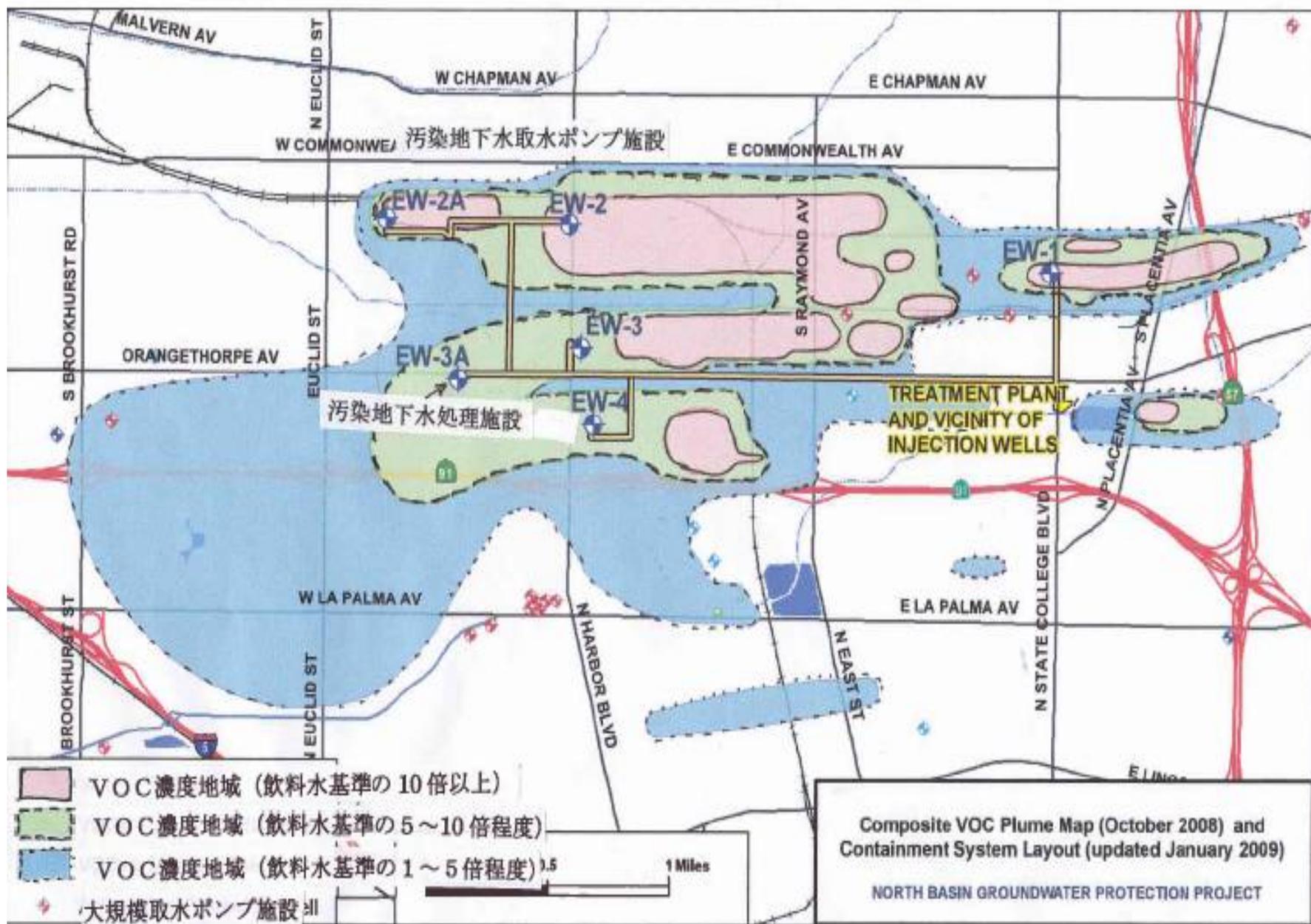


図-22 (2) 北部滞水地域での地下水中のVOCs改善計画地域

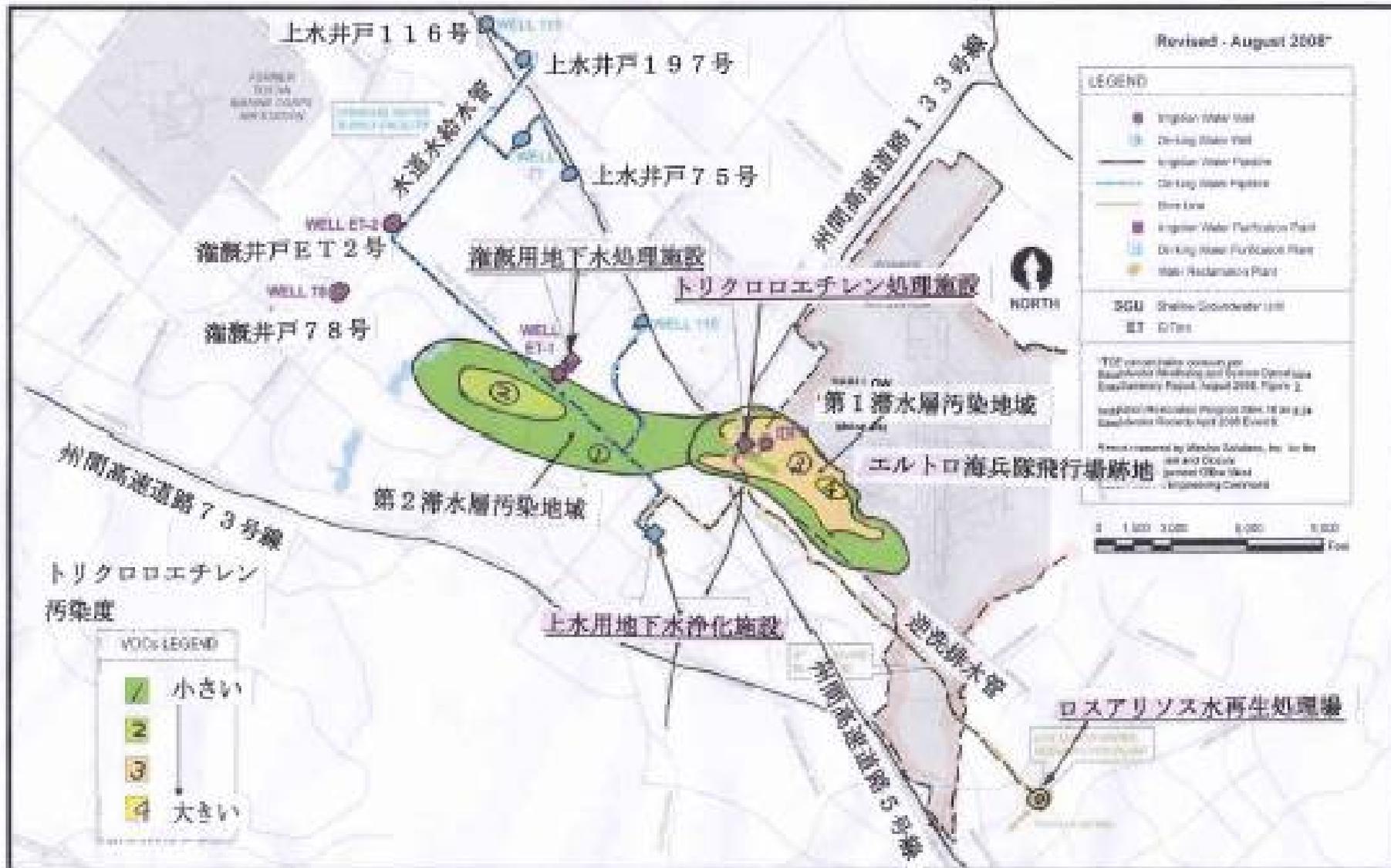


図-27: 地下水中のトリクロロエチレン汚染地域と処理施設

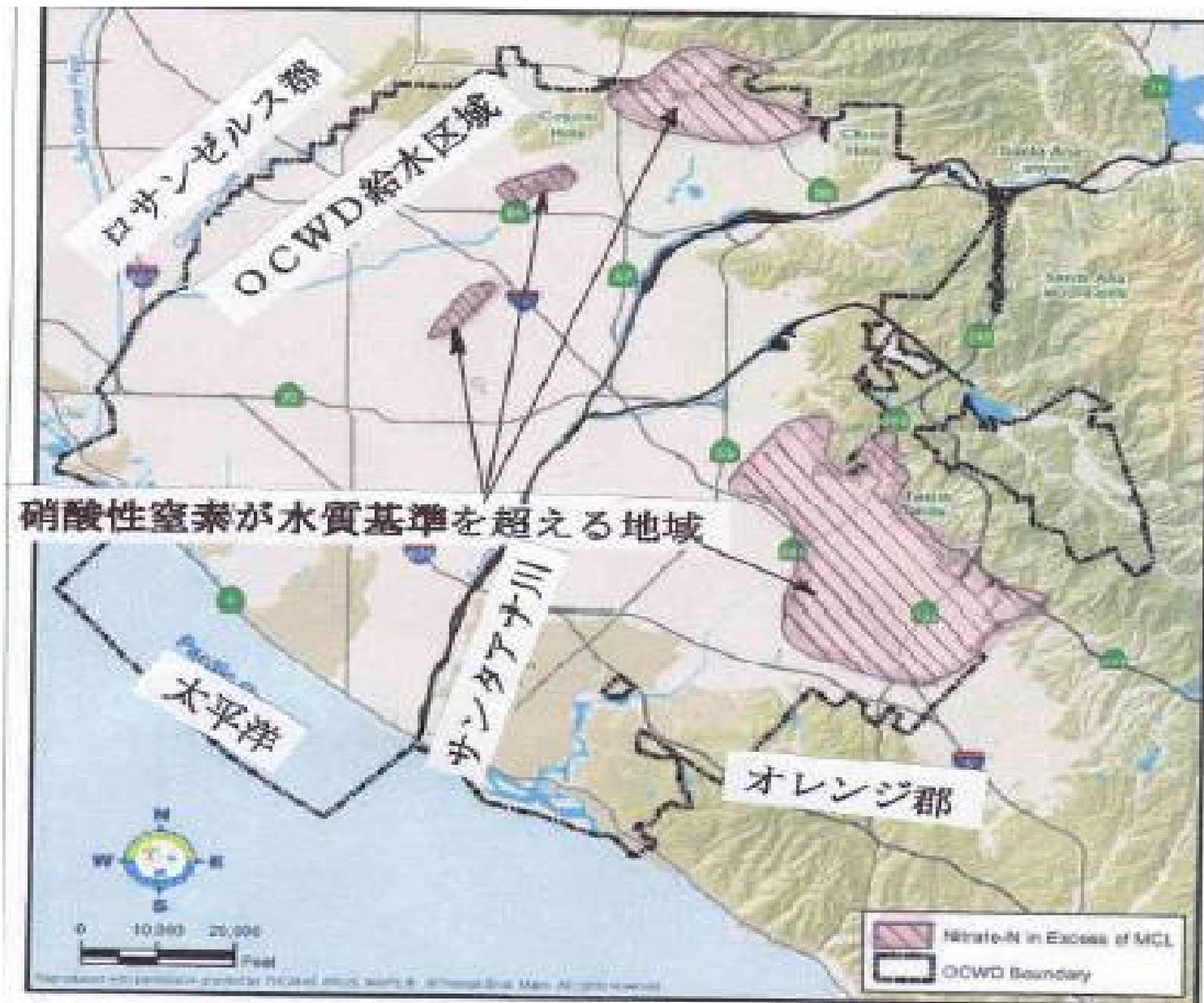
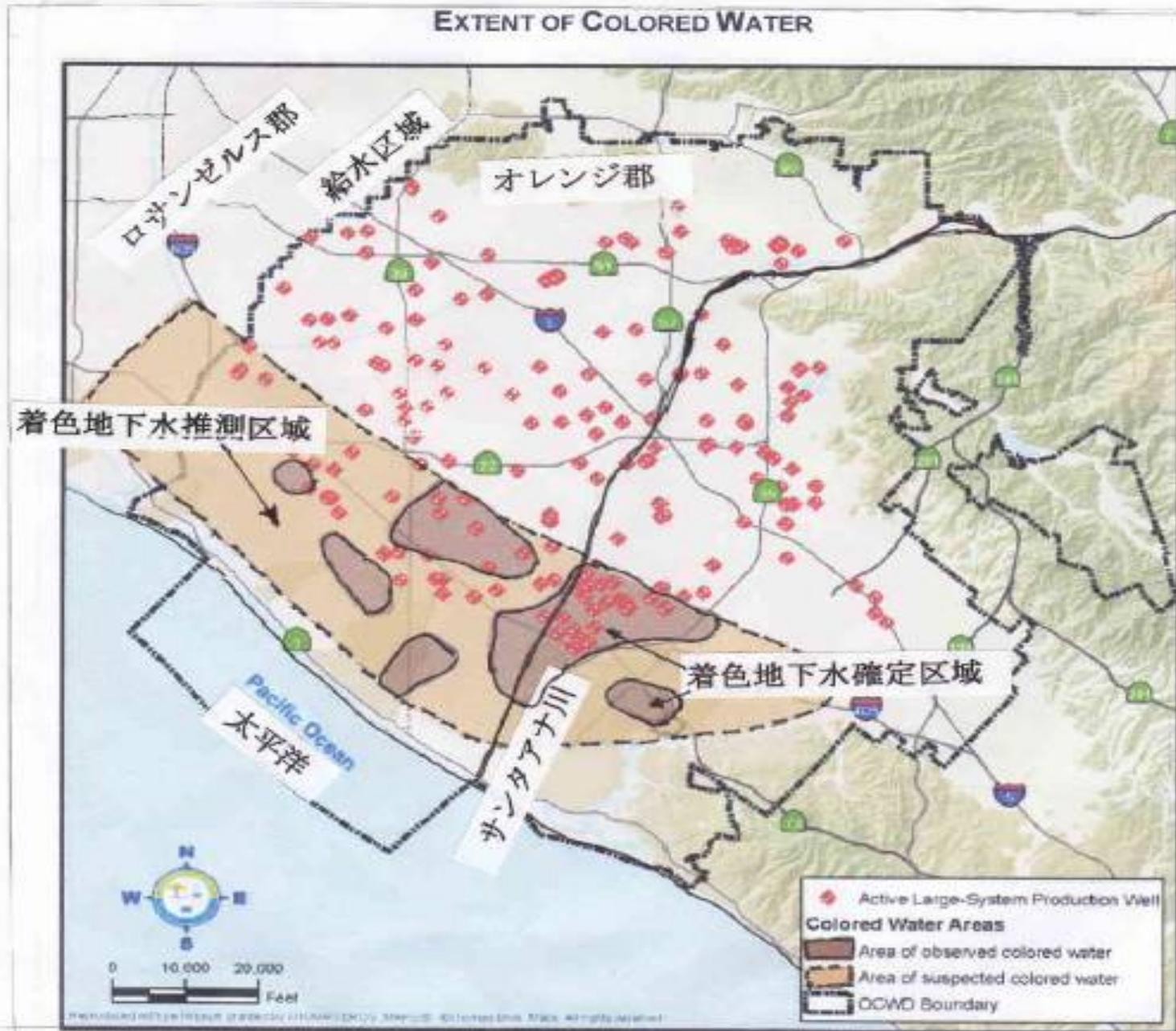


図-28： 硝酸性窒素汚染地域

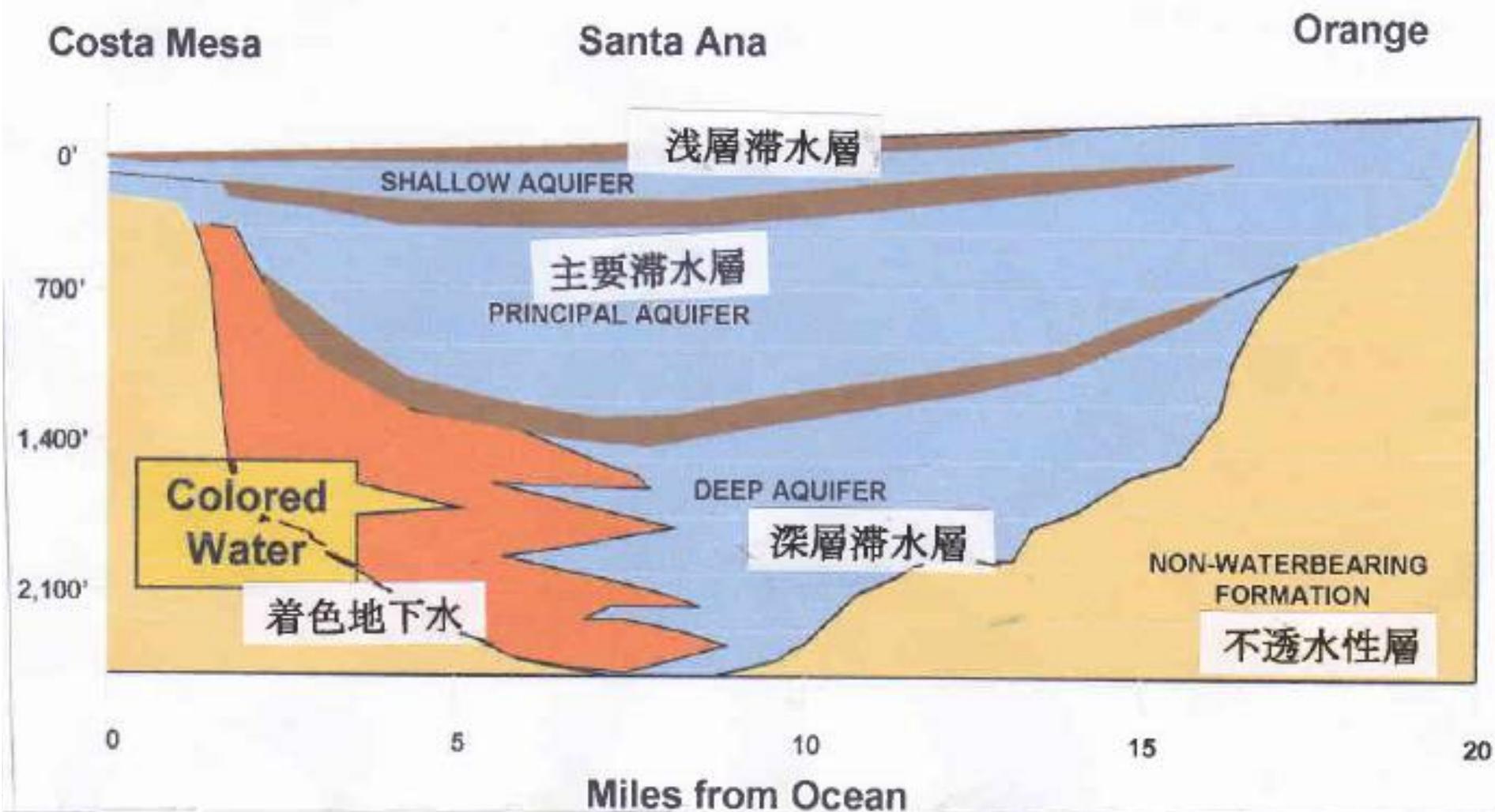
## C) 着色成分の除去

- 古代の米杉や泥炭成分の溶出、フミン質
  - 120～600万m<sup>3</sup>の汚染地下水量の存在
  - 良質な第2滞水層からの過剰汲み上げにより、この汚染水が第2滞水層に流入して地下水の価値を低下する可能性が大きい。その防止。
  - 処理法： **オゾン酸化+AOP消毒法**
  - 現在、数か所で処理中で、**約27300m<sup>3</sup>／日**の処理能力
- 飲料水質基準に満たない地下水を取水する場合は、補助金が出る。OCWDが定めて取水量以上に取水すると割高な取水料金が徴収されるが、上記の飲料水質基準に満たない地下水を取水することで、正常な地下水が汚染されることを防げるので奨励されている。例えば着色した、硝酸濃度が高い及びVOC汚染地下水等。



図一 29 : 着色成分汚染地域分布図

# CROSS-SECTION OF AQUIFERS SHOWING COLORED WATER AREAS



圖一30：着色成分污染地域断面图

## D) 高度処理水中の発がん性物質の除去

### ● N-NDMA(ニトロソジメチールアミン)

- ・ 発生個所: 肉類、魚、ビール、たばこ等の食品の保存処理に使用されている。
- ・ 発現場所: 下水中及びサンタアナ川(約2ng/L)にも存在する。
- ・ 発生メカニズム: 塩素消毒後に発生する。
- ・ CA州飲料水質基準: 10ng/L以下。
- ・ 処理法: RO膜ろ過法+AOP消毒(過酸化水素+UV消毒)。  
GWRSで採用済み。

### ● 1, 4-Dioxane

- ・ 発生個所: 接着剤、溶媒、洗剤、化粧品、医薬品、食品等。
- ・ 2002年に飲料水用の井戸から初めて発見。井戸の使用停止。
- ・ 関連化学物質を工場が下水に放流していたが、規制された。
- ・ 以前は海水侵入防止用の高度処理水にも含まれていた。
- ・ 処理法: GWRSでRO膜ろ過法+AOP消毒法。  
GWRS施設で採用済み

# 第4章. 海水の淡水化

## 第1節 概要:

- ① 新たな水資源の確保
- ② 将来的にCA州では約1,660,000m<sup>3</sup>/日の海水淡水化施設。

## 第2節 目的:

- ① 外部水資源の確保が困難で不安定で降雨量に左右され、不安定な水道事業経営になるのを避ける。
- ② 外部水資源水道コストより安価な海水淡水化コストの技術開発。
- ③ 内部水資源で水道事業の安定化・持続性。

## 第3節 計画: ニューウォーター供給連合(NWSC)の結成

- ① WBMWD: 76000m<sup>3</sup>/日の実証実験中(レロンドビーチ市)
- ② 南オレンジ郡水道企業体: 2020年に約57000m<sup>3</sup>/日, 水道水需要量の約25%(ダナポイント市)
- ③ サンディエゴ郡水道公団: 2020年に約189000m<sup>3</sup>/日, 水道水需要量の約7%(カールスバッド市)
- ④ OCWD: 2013年には約189000m<sup>3</sup>/日(ハントントンビーチ市)に着手予定であったが、遅れているようだ。

## ● 世界での海水淡水化の現状(2008年)

国名	海水淡水化水量	世界での比率
① サウジアラビア	約1080万m <sup>3</sup> /日	17%
② UAE	約840万m <sup>3</sup> /日	13%
③ USA	約810万m <sup>3</sup> /日	13%
④ スペイン	約530万m <sup>3</sup> /日	8%
⑤ クエート	約290万m <sup>3</sup> /日	5%
⑥ アルジェリア	約270万m <sup>3</sup> /日	4%
⑦ 中国	約230万m <sup>3</sup> /日	4%
⑧ カタール	約170万m <sup>3</sup> /日	3%
⑨ 日本	約150万m <sup>3</sup> /日	2%
⑩ オーストラリア	約120万m <sup>3</sup> /日	2%
これらの合計	約4500万m <sup>3</sup> /日	

## ● 南オレンジ水道組合の例

- 1) 場所: Dohney 州立海岸公園内
- 2) 処理能力: **約57000m<sup>3</sup>／日**(給水量の約25%)
- 3) 取水管: 沿岸部沖の海底下に敷設して、沖積層で海水をろ過して取水する。約23度の傾斜取水管。
- 4) 2016年稼働予定
- 5) 建設費: 約175億円(**約30万円／m<sup>3</sup>／日**)
- 6) 海水淡水化単価: **約107円／m<sup>3</sup>**(MWDSCの補助なし)  
約 86円／m<sup>3</sup>(同上補助金あり)

7) 水道水源(%):	現在	2, 3年後	10年後
地下水	10	20	20
下水再生水	10	10	15
MWD購入水道水	80	70	35
<b>海水淡水化水</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>30</b>

## ● オレンジ郡ハンチントンビーチ市の例

- ① 事業主：ポセイドン財団事業でその水道水を市が購入
- ② 場所：海岸沿いの火力発電所に隣接、約5haの用地
- ③ 原水：火力発電所冷却水排水が海水淡水化の原水。  
RO膜洗浄排水(約25000m<sup>3</sup>/日)も冷却水放水路に放流。
- ④ 処理能力：約228000m<sup>3</sup>/日  
給水量は約189000m<sup>3</sup>/日  
全オレンジ郡水道給水量の約7%
- ⑤ 建設費：約350億円(ポセイドン財団の負担)(約19万円/m<sup>3</sup>/日)
- ⑥ 供用開始：2015年
- ⑦ ハンチントンビーチ市のメリット：年間2億円の税収入。
- ⑧ 環境影響評価：公的機関は問題なし。  
しかし、環境保護団体等からクレーム多数。アメリカでは日常茶飯事。  
他に市民団体からは
  - ・ 水道水不足は漏水の解消が先だ。
  - ・ 水資源不足対策として景観用水等の効率化が先だ。
  - ・ 新築家屋に高効率な水道施設の設置。
  - ・ 既存家屋の水道施設を節水型に改良するなどが先だ。

# 第5章 まとめ

## 第1節 CA州での処理水の有効利用調査

- 1) CA州は人口数から見て、北部は豊富な水資源に恵まれているが、南部は非常に厳しい水資源状態である。
- 2) CA州は処理水有効利用調査を州水資源戦略計画の持続性の確認のため、ほぼ10年に1回調査している。
- 3) CA州水資源戦略計画による2030年の下水処理水の計画有効利用量は約843万 $m^3$ /日であり、これと別に目標値として389万 $m^3$ /日がある。
- 4) CA州の有効利用の定義として意図した積極的な再利用に限っているので、場内再利用や河川維持用水等は含まない。
- 5) 2009年度の調査結果は、約223万 $m^3$ /日の処理水が有効利用された。

- 6) 調査を開始した1970年実績に対して2000年代は約3～4倍の下水処理水の有効利用率に増加した。
- 7) CA州全体では**農業用水(37%)**、**景観用水(17%)**及び**地下水涵養用水(12%)**が**有効利用の御三家**であった。これに次ぐのは工業用水と海水侵入防止用水で共に7%あった。
- 8) ロサンゼルス郡、オレンジ郡等の大都市圏での有効利用先は**景観用水、地下水涵養及び海水侵入防止用水**への有効利用比率が大きかった。
- 9) 農業用水、景観用水及びゴルフ場散水用水は**凝集沈殿・砂ろ過法による3次処理水**が利用されているが、地下水涵養用水及び海水侵入防止用水には**3次処理水をRO膜ろ過法等による高度処理水**が**有効利用**されている。高度な水質が要求される工業用水にはRO膜ろ過法等による高度処理水が利用されている。

## 第2節 OCWD地域での下水処理水の有効利用

- OCWD地域と大阪府域とで、人口、面積、降雨量、下水道整備、サンタアナ川と淀川流域、プラドダムと琵琶湖等と比較しながら検討すると理解しやすい。
- 1) OCWD設立の主目的は**サンタアナ川の水利権を確保し、十分な地下水涵養水源を得ること、取水コストを増加させずに取水量を維持すること、効率的な地下水管理を行うこと**等であった。
- 2) 地下水涵養水源はサンタアナ川の**晴天時及び雨天時河川水**を無駄なく河川敷や浸透池から地下浸透させるために、**上流の洪水調整ダムを水道水源ダムの機能を持たせる**交渉に約40年費やして成功した。
- 3) これらの自然の水資源のみでは地下水涵養量が不足するため、MWDから水資源を購入する他に、下水処理水の高度処理水、自然浸出水等を取り込み、さらに汚染地下水を浄化して水道水・景観用水・地下水涵養用水等に有効利用し、モニタリング等による地下滞水層の総合管理から同じ滞水層からの地下取水量を**約2倍**に増加させた。
- 4) 地下浸透させる方法は**河川敷及び浸透池から自然浸透**させる方法と、**海水侵入防止用水のようにポンプ圧入方法**を採用している。

- 5) 浸透水源は**サンタアナ川晴天時及び雨天時水量**からの浸透水量が最も多い。河川敷の雑草を撤去し河道を整備して、降雨期前に河川敷に**河川砂で水平迂回土堤**をブルドーザーで築造して、**河川水流下時間を長く**させて最大限に地下浸透させている。
- 6) サンタアナ川沿いに**用地を購入**して分水路を整備して、本川と同じ機能を持たせて浸透水量を増加させている。河川水の分水には**ラバーダム**を数か所設置し、河川水が本川及び分水路等に分水・浸透できるように考慮している。この河川敷の浸透全面積は**約168ha**である。
- 7) 高度処理水は直接飲料可能な水質であり、水深が大きい浸透池から浸透させている。これに必要な用地買収も行われ、現在**約268ha**の浸透水面積を保有している。
- 8) 河川敷及び浸透池からの浸透速度が低下するため、特に浸透池は池底の浚渫が定期的に行われている。

- 9) GWRS施設が2008年1月より処理能力**約265000m<sup>3</sup>／日**で稼働し、地下滞水層状況がおおきく改善された。隣接するOCSD第1下水処理場の活性汚泥法による2次処理水を受水し、**MF膜ろ過法＋RO膜ろ過法＋AOPオゾン消毒法**で直接飲料可能な水質の高度処理水を生み出し、再利用している。
- 10) 高度処理水の半分はサンタアナ川上流約21kmにある水深の大きい浸透池にポンプ圧送され、そこから地下浸透して地下水を涵養している。残り半分は沿岸部にある断層地帯から地下に圧力注入し、海水が地下滞水層に侵入するのを防止している。地下水が過剰取水された場合、地下水位が低下し、そこに海水が浸入し、正常な水質の地下水が海水に汚染され水道水として価値を失うのを防ぐためである。
- 11) 下水処理水の高度処理水中に微量に残存している**発がん性物質が発見され、AOP・オゾン消毒法で除去しているが、サンタアナ河川水等**には、それら微量の発がん性物質が**残存**している可能性があって、取水中の水道水に残存していると推測している。

- 12) **持続性ある地下水取水量の確保と水質保全**のために、また将来の水度水需要量の増大に対して膨大なモニタリング調査を行ってる。地下浸透する前の河川水及び購入河川水の水質分析も同時に行っている。
- 13) 量的には水道水需要量を満たす地下水取水量は無理であり、不足分をMWDから水道水を購入しているが、この購入水資源量が持続性・安定性に欠け、且つコストも上昇傾向にあるので、可能な限り、**地産地消**又は**自給自足**の水資源対策への切り替えに全力を投入している。
- 14) モニタリングでは平面的及び垂直的(深度別)の地下水位の観測と取水ポンプ実績から、地下水量と流れをシミュレーションして、地下水量の管理をコンピュータモデル化している。
- 15) 地下水位の低下と海水侵入防止用の高度処理水の地下圧入量もこのモデルで管理している。
- 16) オレンジ郡区域外周辺部にもこのモデルが連続して適用できるようになっている。

- 17) 増加する人口及び生活レベル向上に伴う水道水需要量増大に対して GWRS施設の増設と河川水の全量地下浸透を目指した事業を促進している。これでも水道水需要量が賄えない予測に対応して**海水淡水化事業**を計画しているが遅れ気味である。
- 18) さらに水道水需要量不足は今後も継続される状況であり、**節水思想の普及**に全力を投入している。しかし、乾燥・半砂漠地域での高度な都市活動と都市生活を維持するには、膨大な水資源が必要で、都市活動及び都市生活の質の低下は難しいため、このジレンマの解消は難しいだろう。
- 19) 下水処理水のRO膜ろ過法による高度処理水量の増加のために**約500000m<sup>3</sup>／日**まで増設され、海水淡水化施設もOCWD地域の2か所(約250000m<sup>3</sup>／日)で計画されている。これらの水資源は**内部水資源であり、外部水資源に依存しない自給自足、地産地消の思想**に沿ったものである。

## 第3節 課題とその応用

1. **地球温暖化**で**降雪量が減少**し、気温上昇により**蒸発ロス**も増加する。これは**水資源不足**に連なる深刻な問題である。日本でも降雪量の減少が予測されているが、田植えにはこの融雪水源が不可欠である。
2. 降雨期に余剰の雨水を地下に浸透させたり、貯留する**Water Bank 施設**に適した地域の捜査及び建設が必要。オレンジ郡では広大な浸透性の良い地域に恵まれていたので、人口増加等に対応出来た。このような好条件の土質(扇状地)に恵まれた地域は多くないだろう。即ち、浸透性に富んだ土質を徹底的に調査して水資源貯留を促進すべきであろう。
3. カリフォルニア導水路、コロラド川導水路(及びロサンゼルス導水路)からの導水量は送水元の水資源状況や環境保護団体からの訴訟等により益々削減されるため、**地域独自の水資源確保が急務**、即ち下水の高度処理水の有効利用促進が急務である。

4. カリフォルニア州南部沿岸地域では上水・下水の繰り返し利用やディスポーザーの普及で、現在、2次処理水中の**TDS濃度や電気伝導度**が非常に高いため、3郡地域で**約350万m<sup>3</sup>／日**(オレンジ郡では**約50万m<sup>3</sup>／日**)の2次処理水が水資源不足であるにも関わらず未利用で海洋に放流されている。水資源不足対策として、2次処理水のRO膜ろ過法等による**高度処理水の有効利用量増加**が不可欠であるが、このコストは徐々にアップする遠方よりの導水水資源コストより安いことが条件である。

一方、**海水淡水化のコスト縮減**の技術開発が待たれるが、海水淡水化の方が経済的なのか、高度処理法が経済的に優れているのか、十分な周辺状況を考慮して決定せねばならない。

5. 水資源を下水の高度処理水による**自給自足又は地産地消**で賄う次の対策は海水淡水化しかないが、その**コスト縮減と海洋生態学の保護対策**が必要である。双方とも膜処理法であり、膜逆洗排水による海洋生態学への悪影響を避ける十分な技術的検討が必要である。

水資源不足解消のために海水淡水化事業を行う前に**給水管の漏水**の改善が先だと指摘する市民グループもある。

6. この地域では高度な水使用で成り立っている都市活動及び都市生活での水消費原単位を削減しない限り、常に水資源不足が付きまとう。

「トイレから蛇口へ」の心理的拒絶反応を解消すれば高度処理水の有効利用費は大きくコスト削減になる。また河川水の浸透池能力も大幅にアップするメリットがある。

7. 日本も地球温暖化の影響を受けて、地域的に**寡雨地域と豪雨地域の2極化**になる可能性が益々増大する。降雨時の水資源を地上又は地下に貯留して、水資源の有効利用を促進するために**貯留水のネットワーク化事業**が必要と考える。

毎年、夏季になれば貯水池地域の水資源不足から取水制限、給水制限が起こるが、日本の年間降雨量は約6000億m<sup>3</sup>、その内、約2000億m<sup>3</sup>が未利用で海域に流失している。この水資源の有効利用が必要だろう(小規模で地域間のダムネットワーク化が行われている)。

8. カリフォルニア州南部沿岸地域3郡での下水の3次処理水及び高度処理水の**有効利用技術(ハード及びソフト対応)**は国内外の水資源不足地域に大いに役立つものである。OCWDの下水処理水の有効利用は規模的に、また技術的にも世界的に有名な事業であり、カリフォルニア大学デービス校名誉教授の浅野孝さんは、この事業に関与して**ストックホルム水賞**を受賞している。

9. 現在、世界各国(中国北部、インド、パキスタン、アラビア半島、アラル海地域、地中海沿岸部のアフリカ諸国等)で**水資源不足地域**では水道及び下水道整備が遅れた地域が多い。これらの整備事業の促進と共に下水処理水の有効利用を導入すべきである。

(以上)

## 参考： 浄水及び給水コスト(2012年度)

ポンプ費： 5. 27円／m<sup>3</sup>

高度処理費： 21. 89円／m<sup>3</sup>

減価償却費： 4. 60円／m<sup>3</sup>

運転維持管理費： 4. 67円／m<sup>3</sup>

合計： 36. 40円／m<sup>3</sup>

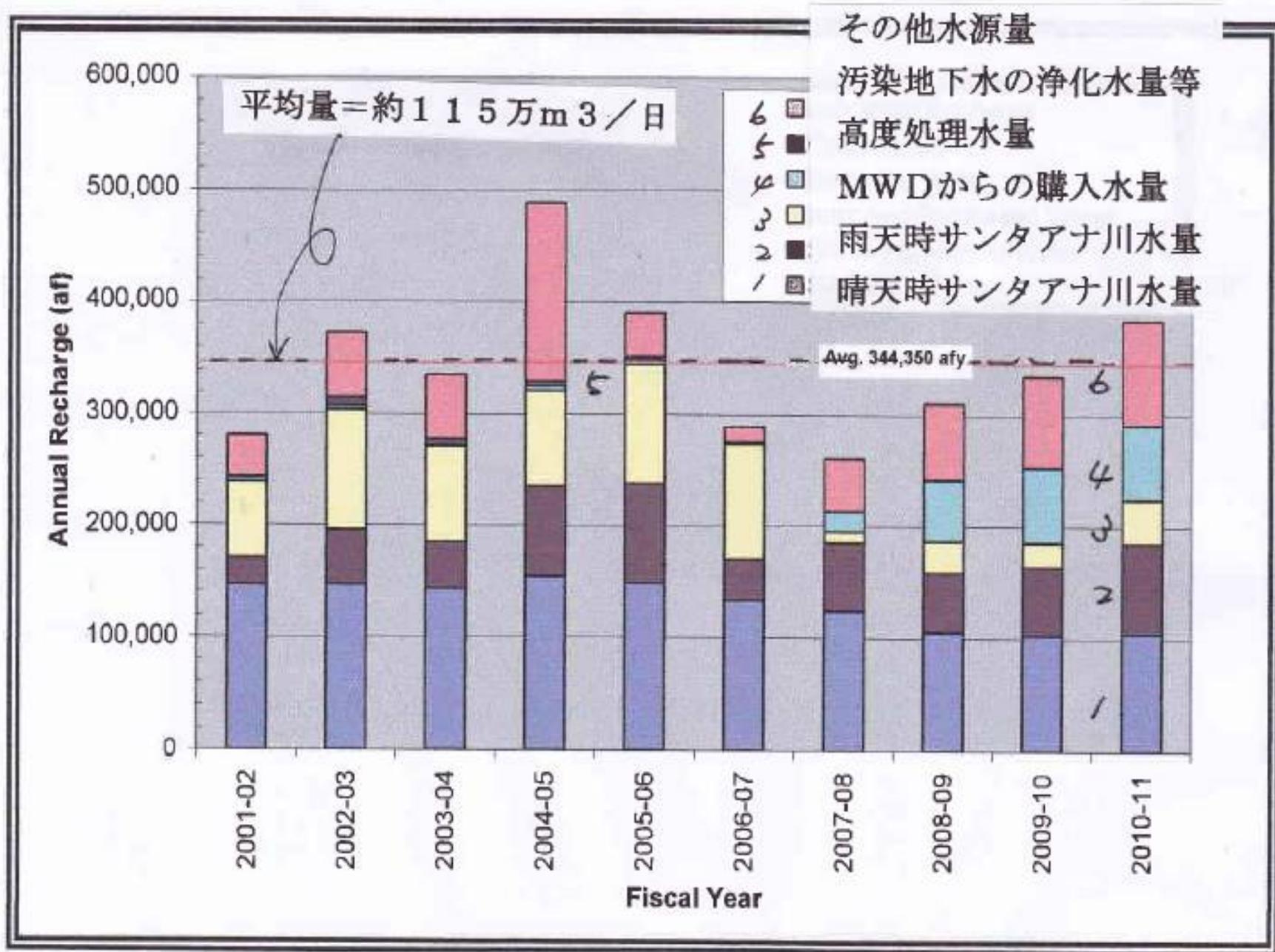
給水管関連・その他経費： 37. 22円／m<sup>3</sup>

水道水単価： 73. 62円／m<sup>3</sup>

注： 給水関連はMWDが主に行う。

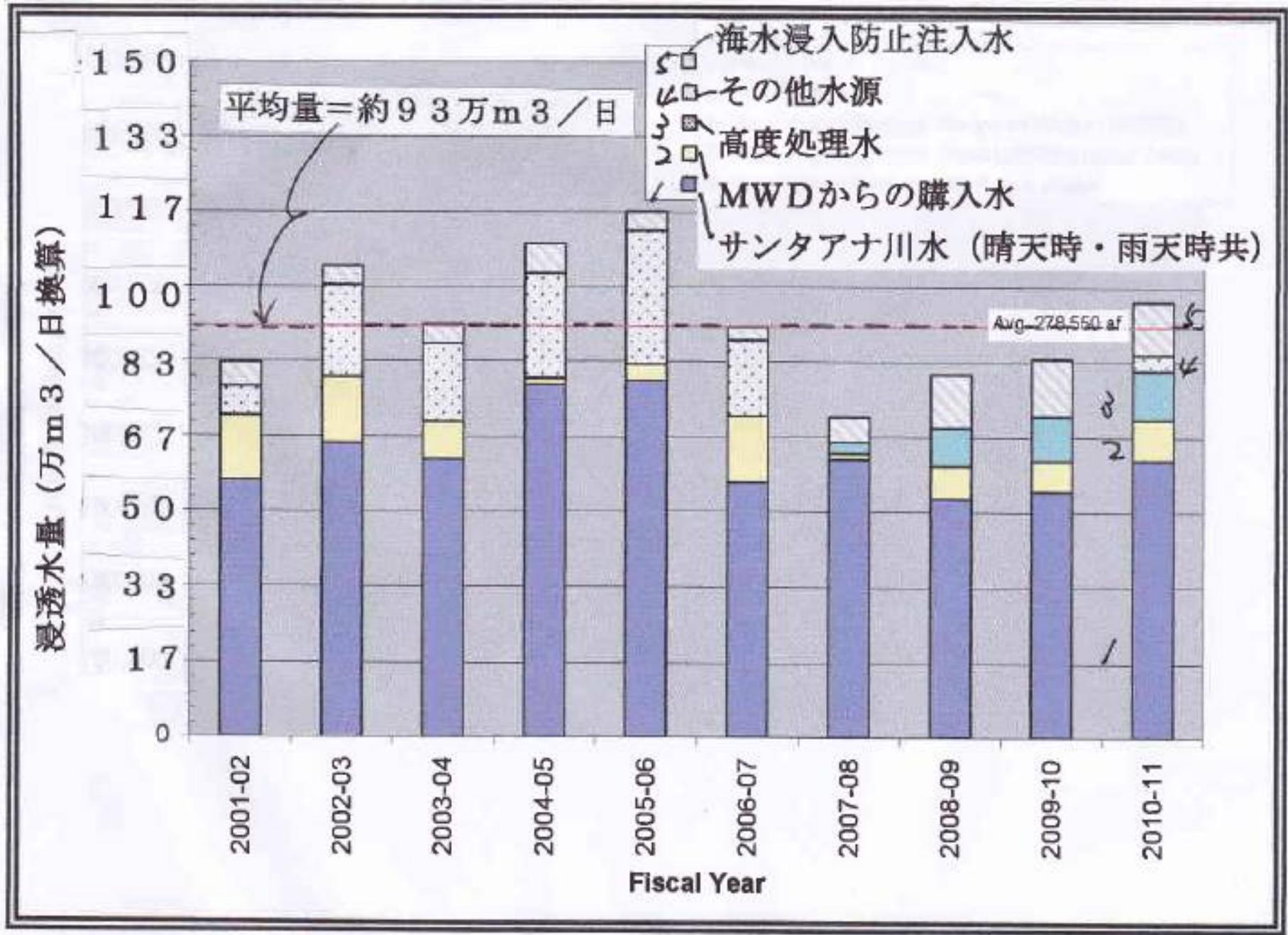
## 参考： 2009年度の地下水事情

1. OCWDの全水道水需要量： 1,427,000m<sup>3</sup>／日
2. 地下水取水量： 950,000m<sup>3</sup>／日
3. 単年度の地下水増加量： 80,000m<sup>3</sup>／日
4. 海水侵入防止圧入水量： 74,000m<sup>3</sup>／日
5. 単年度の地下水過剰取水量： 213,000m<sup>3</sup>／日  
過去5年間の平均値： 339,000m<sup>3</sup>／日  
次年度の許容過剰取水量： 179,000m<sup>3</sup>／日  
次年度推定単年度過剰取水量： 226,000m<sup>3</sup>／日
6. 累積地下水過剰取水量： 1,075,000m<sup>3</sup>／日  
次年度累積過剰取水量： 932,000m<sup>3</sup>／日
7. MWDからの購入水道水量： 446,000m<sup>3</sup>／日

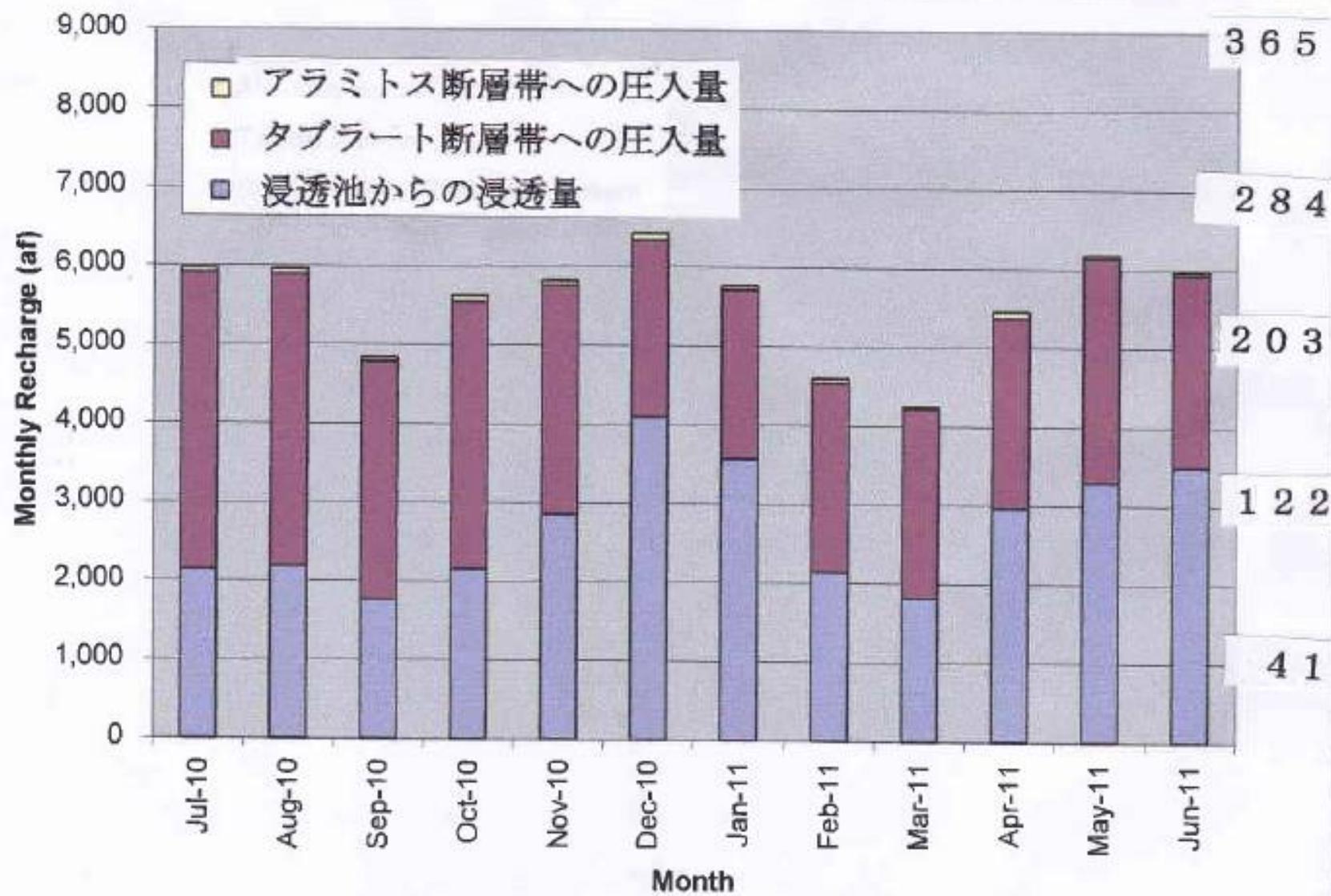


浸透水量 (万m<sup>3</sup>/日換算)

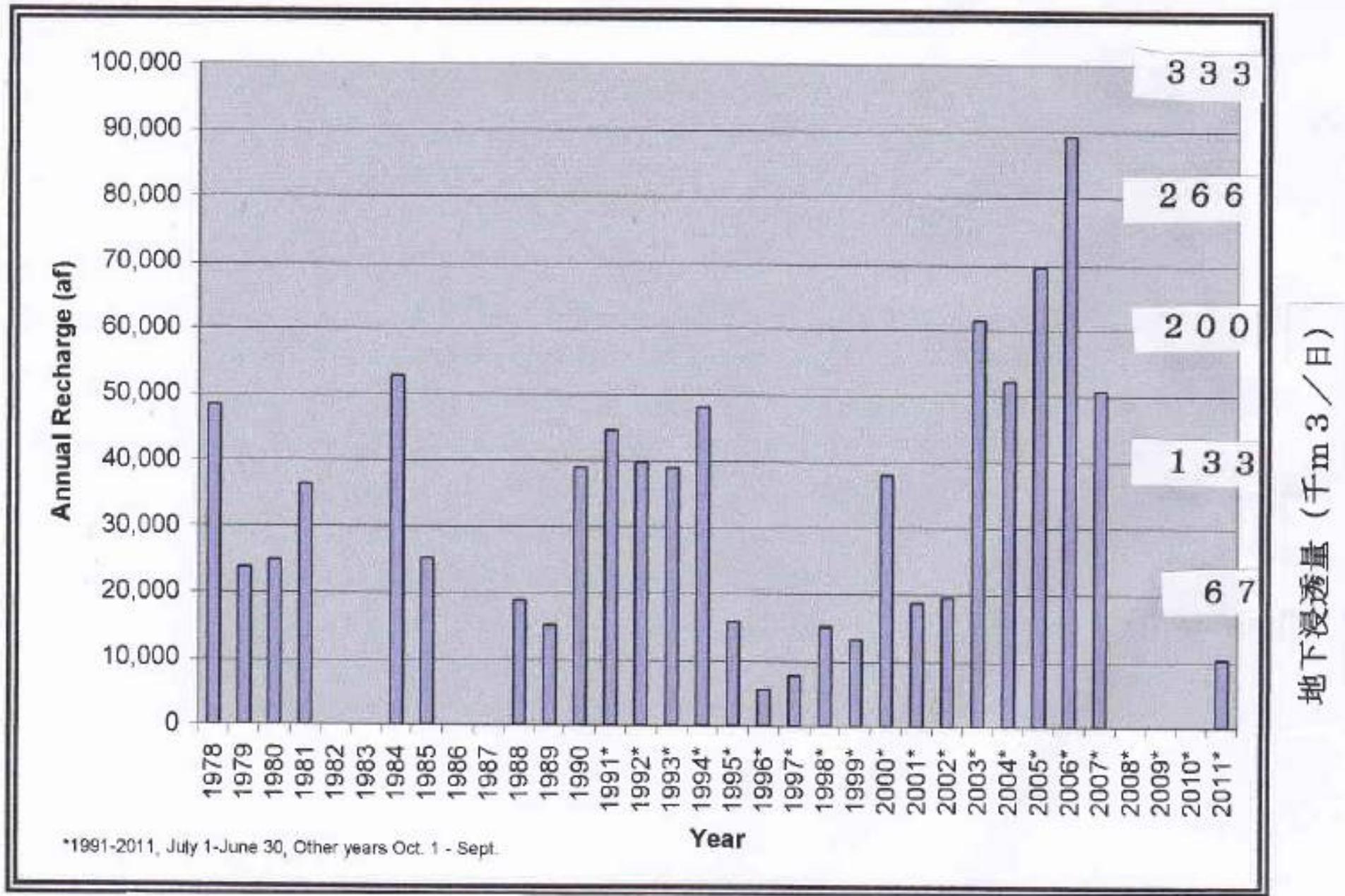
年度別、水源別の地下浸透水量 (2001~2010年度)



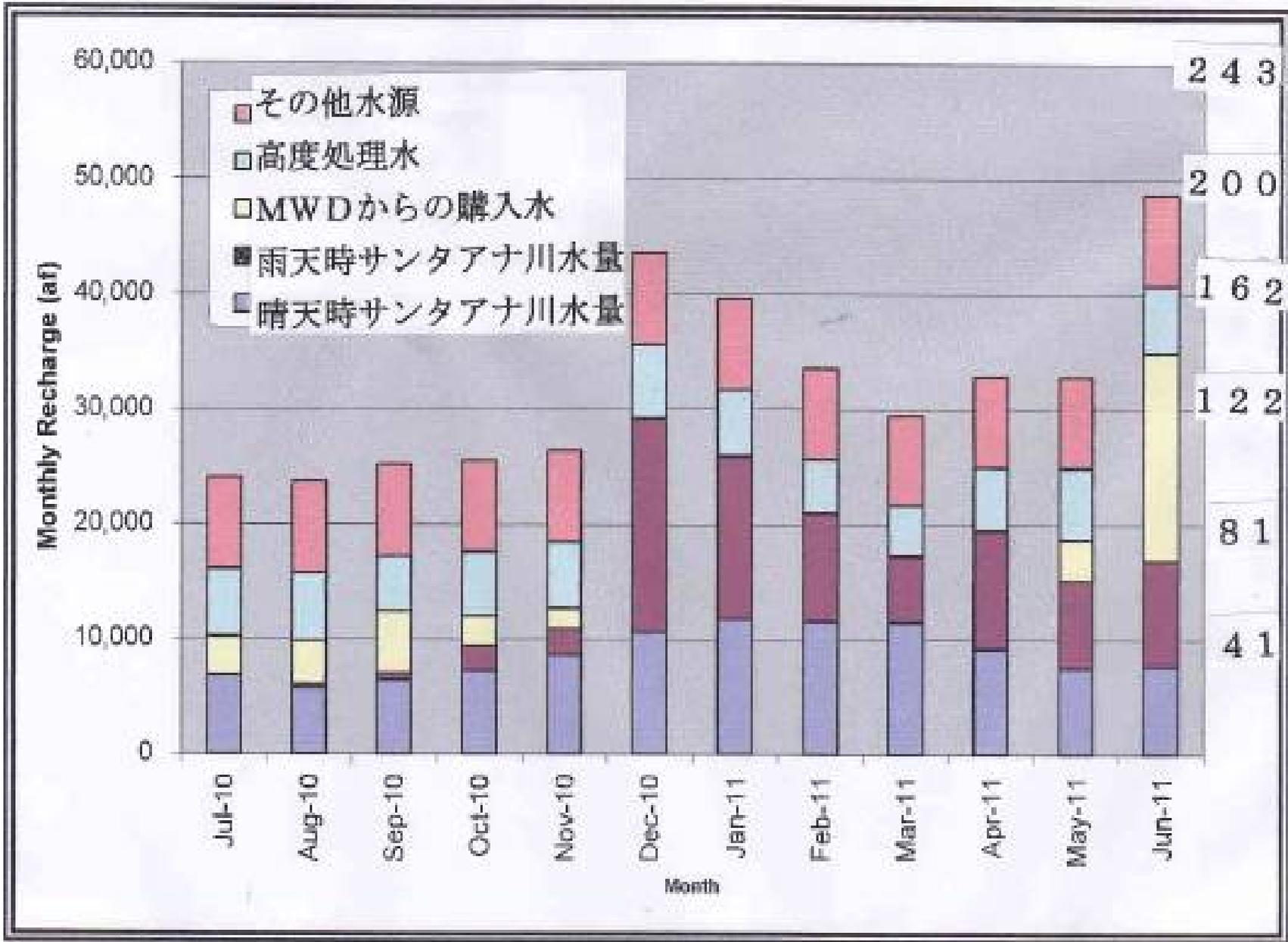
年間の浸透施設別浸透水量 (2001~2010年度)



高度処理水の利用先別の月間浸透量 2010-11



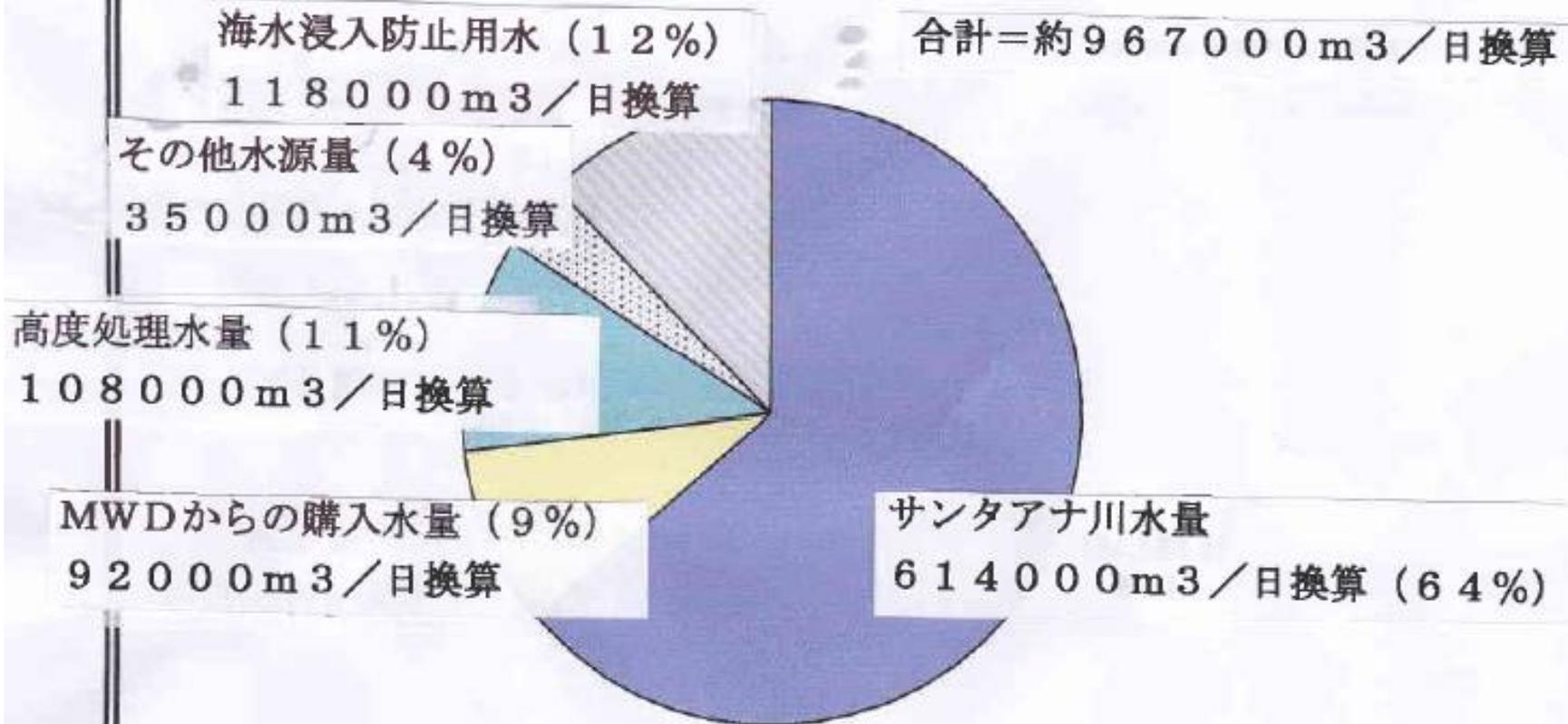
その他水源からの年間地下浸透量 (1978~2011年度)



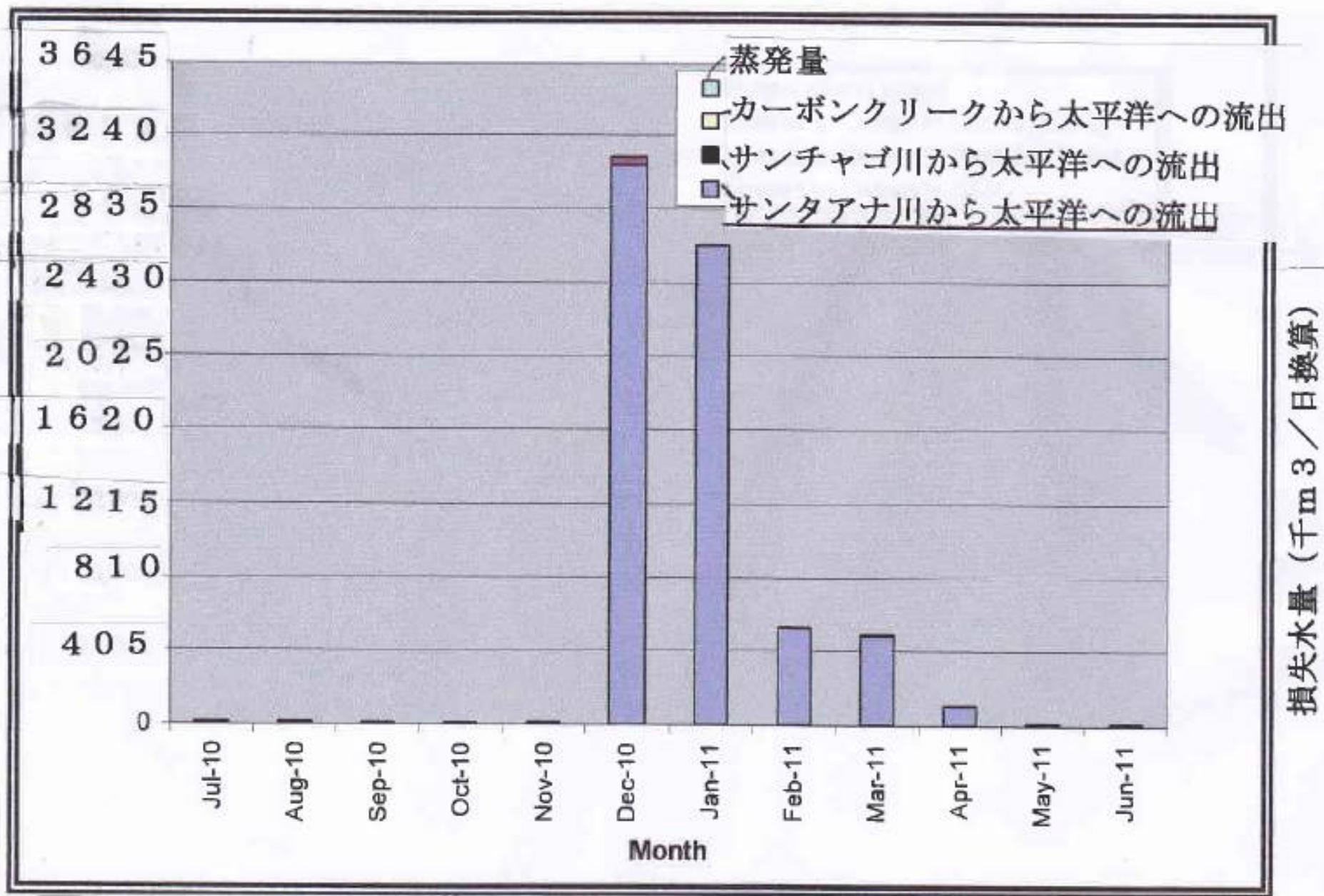
浸透水量 (万m<sup>3</sup>/日換算)

水源別、月別の浸透水量 (2010年度)

- Surface Water System: SAR/Local Water
- Surface Water System: Imported/Purchased Water
- Surface Water System: Recycled Water (GWRs)
- ▨ In-Lieu System
- ▨ Seawater Barrier System



浸透施設別、年間浸透水量（2010年度）



サンタアナ川等の雨天時流量の太平洋への流出量 (2010年度)

# Rio Hondo spreading grounds

リオホンド浸透池



リオホンド浸透池

リオホンド川

サンガブリエル浸透池

# San Gabriel spreading grounds



サンガブリエル川

サンガブリエル浸透池

サンガブリエル川

図-19: サンガブリエル川とリオホンド川の浸透池

全浸透量=約1282000m<sup>3</sup>/日

- SAR Base Flow
- Storm Flow/Local Water
- Imported/Purchased Water
- Recycled Water
- Incidental Recharge

Volumes are in acre-feet

その他水源量

315000m<sup>3</sup>/日 (25%)

晴天時サンタアナ川水量

348000m<sup>3</sup>/日 (27%)

高度処理水量

222000m<sup>3</sup>/日 (17%)

雨天時サンタアナ川水量

267000m<sup>3</sup>/日 (21%)

MWD購入水量

130000m<sup>3</sup>/日 (10%)

水源別の地下浸透水量 (2010年度)