

2025年度(R07年度)

地下水盆管理学

福島大学 共生システム理工学類

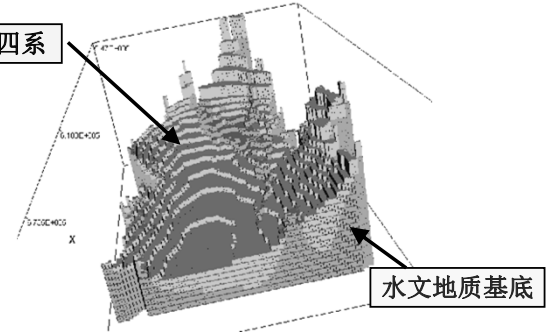
地球環境コース

柴崎 直明

1

14. 地下水シミュレーション 実践と地下水盆の評価・管理

第四系



中国新疆トルファン盆地に適用したモデル

3次元地下水流動の基本式

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = Ss \frac{\partial h}{\partial t}$$

K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} : x, y, z 軸方向の透水係数 (LT^{-1})

h : 被圧地下水頭 (L)

W : 単位体積あたりの流入または流出量 (T^{-1})

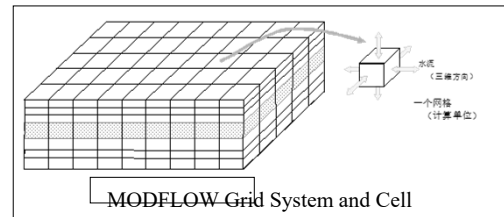
Ss : 比貯留量 (L^{-1})

t : 時間 (T)

3

3次元地下水流動(MODFLOW)の 基本式とセルの分割

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = Ss \frac{\partial h}{\partial t}$$



4

モデルの離散化 (MODFLOWの例)

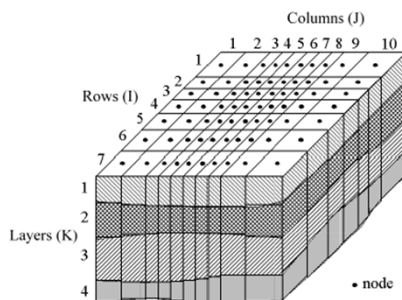
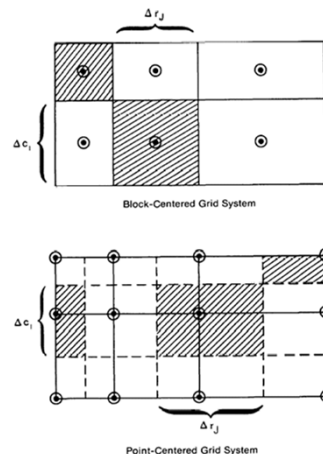


Figure 2.1. Spatial discretization of an aquifer system and the cell incides



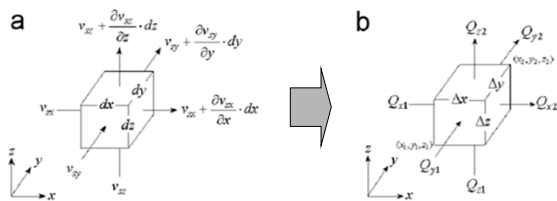
差分法による
グリッドシステム

Block-Centered
Grid System

MODFLOWで使用

Point-Centered
Grid System

モデル化されたセル中の地下水の流れ Groundwater Flow in a Modeled Cell



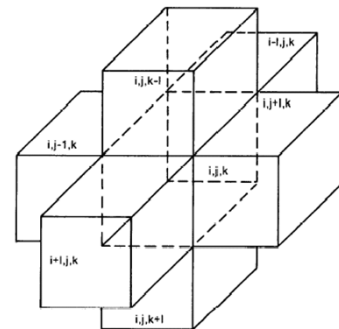
Partial Differential
Approach

偏微分によるアプローチ

Finite Difference
Approach

差分法によるアプローチ

隣接する6個のセルとの関係 Cell i, j, k and Indices for the Six Adjacent Cells



MODFLOWシミュレーションに必要な 基本パラメータ(モデル形状)

名称	内容	備考
モデル構造	行・列数 平面グリッドの大きさ モデル層数	
水文地質構造	層別上面標高 層別下面標高	グリッド別に指定

MODFLOWシミュレーションに必要な 基本パラメータ(水文地質特性)

名称	内容	備考
帯水層の種類	被圧、不圧、被圧/不圧(透水量係数一定)、被圧/不圧(透水量係数変化)	層別に指定
異方性比	水平方向の異方性比	
水文地質定数の計算方法	透水量係数 漏水係数 貯留係数	
オプション	Interbed Storage考慮の有無	

MODFLOWシミュレーションに必要な 基本パラメータ(境界条件)

名称	内容	備考
基本境界条件	計算グリッド 非計算グリッド 固定水頭グリッド	グリッド別に指定 固定水頭グリッドは 初期水頭で固定

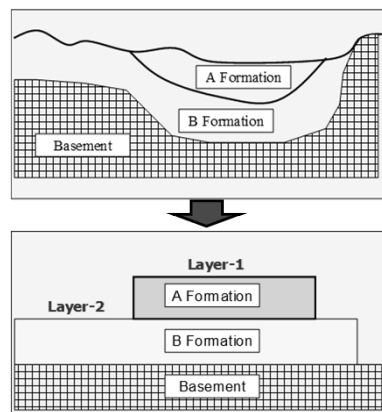
MODFLOWシミュレーションに必要な 基本パラメータ(初期条件・時間)

名称	内容	備考
地下水流動初期条件	初期水頭	グリッド別に指定
計算方法	定常、非定常の選択	
時間単位	時間単位の選択	
計算ステップ	長さ、分割ステップ数等	非定常計算の場合はステップごとに指定

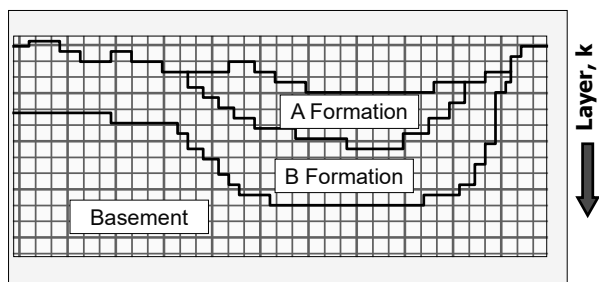
MODFLOWシミュレーションに必要な 基本パラメータ(帯水層特性)

名称	内容	備考
透水特性	横方向透水係数(透水量係数) 縦方向透水係数(縦方向漏水係数)	()はユーザー指定の場合
貯留特性	比貯留量(貯留係数) ⁽¹⁾ 有効空隙率 比浸出量 ⁽²⁾	()はユーザー指定の場合 ⁽¹⁾ 定常計算では不要 ⁽²⁾ 被圧では不要

モデル化の方法(単純なケース)



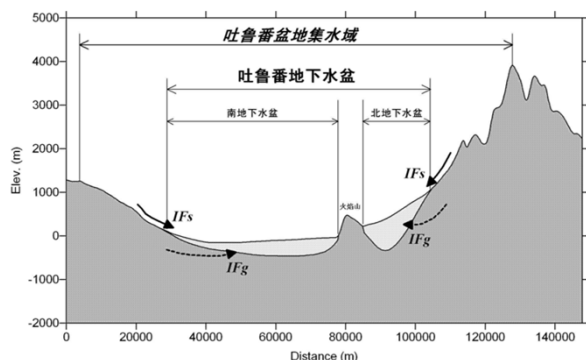
モデル化の方法(複雑なケース)



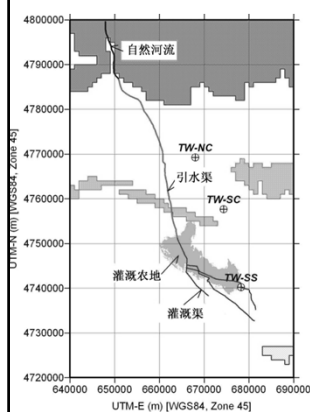
トルファン盆地への適用例



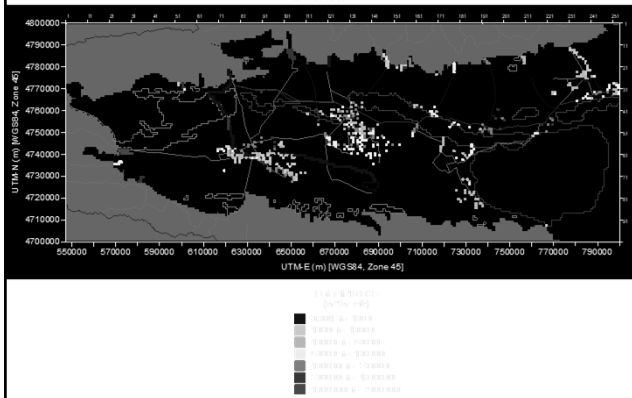
吐魯番地下水盆への流入模式図



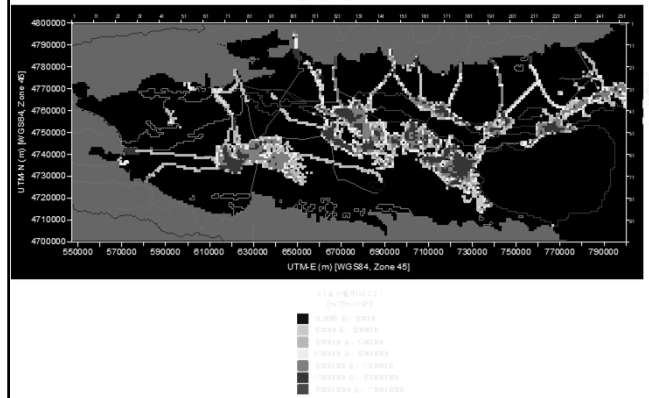
河川からの導水のモデル化



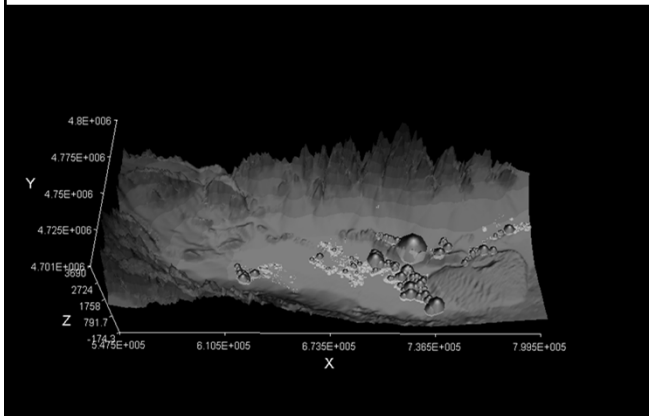
最大地下水涵養量(2003年1月)



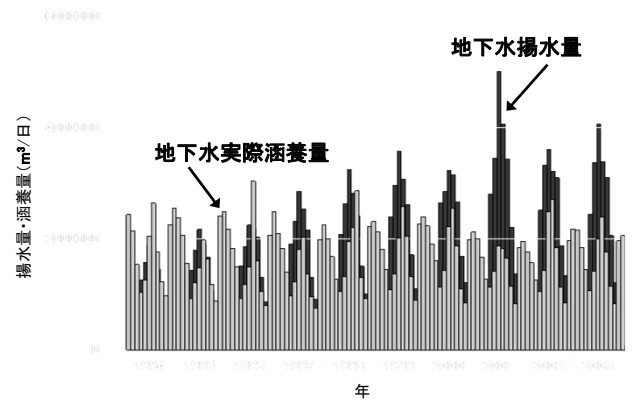
最大地下水涵養量(2003年7月)



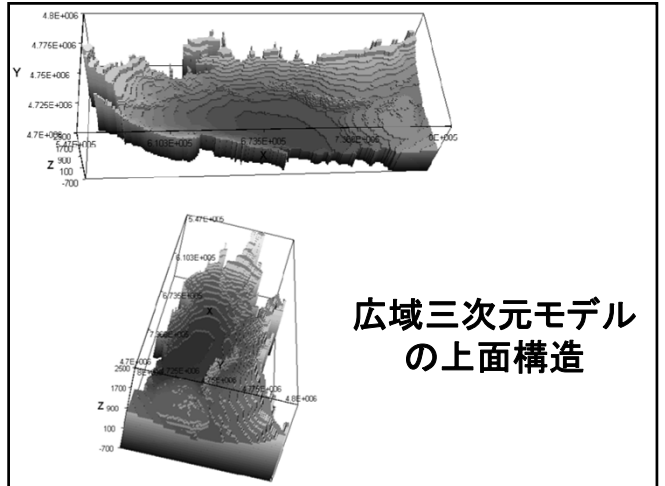
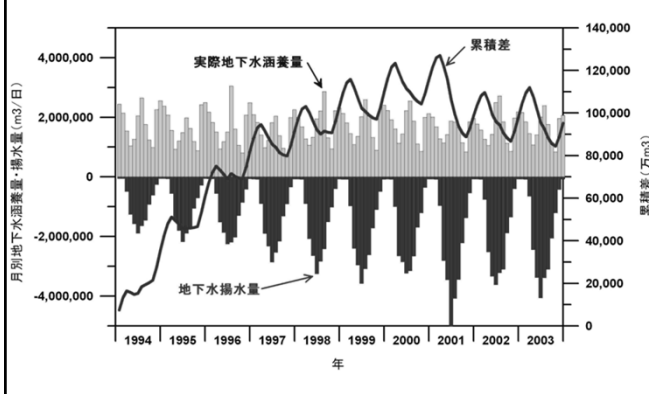
地下水揚水量分布



月別地下水揚水量と涵養量



広域三次元モデル地区の
実際地下水涵養量と揚水量および累積差

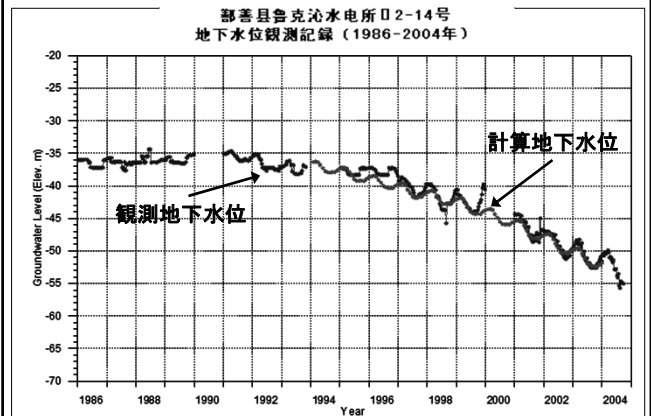


広域三次元モデル
の上面構造

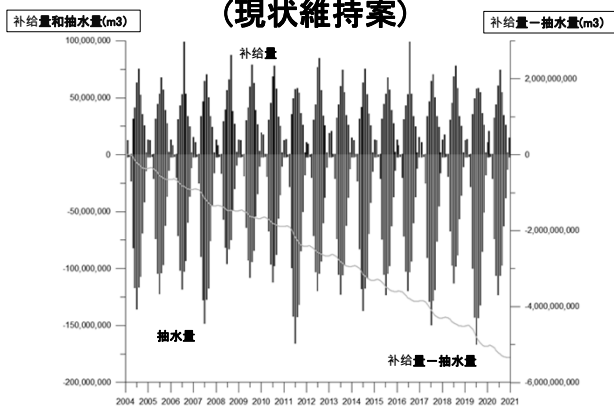
モデルの検証により確定したパラメータ

パラメータの種類	パラメータ値
水平方向透水係数	第四系: 0.02 ~ 66 m/day 火焰山-盐山: 0.013 m/day 盆地内露出基岩: 0.03 ~ 2 m/day 水文地质基底: 0.0005 m/day
垂直方向透水係数	水平方向透水係数の1/2
有効空隙率	0.075 ~ 0.25 (= 7.5 ~ 25%)
比貯留量	$3.0E-6 \sim 1.0E-5 m^{-1}$
比浸出量	0.075 ~ 0.25
一般水頭境界のコンダクタンス	0.342 ~ 3,000 m ² /day
排水境界のコンダクタンス	3,000 ~ 9,000 m ² /day

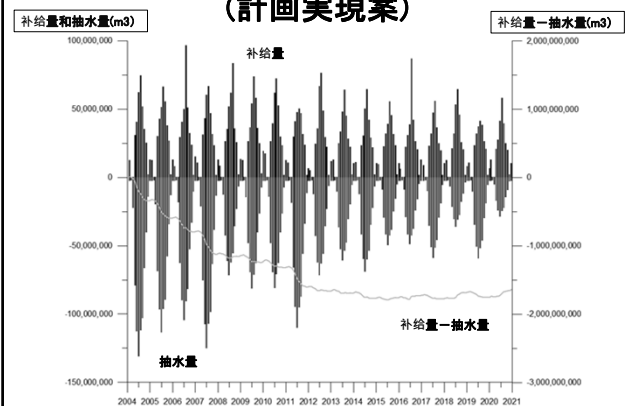
観測井地下水位の検証結果



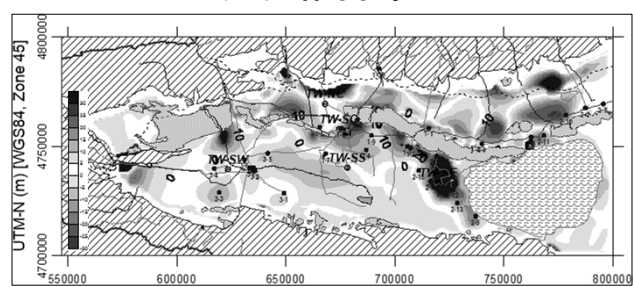
将来の涵養量と揚水量案 (現状維持案)



将来の涵養量と揚水量案 (計画実現案)

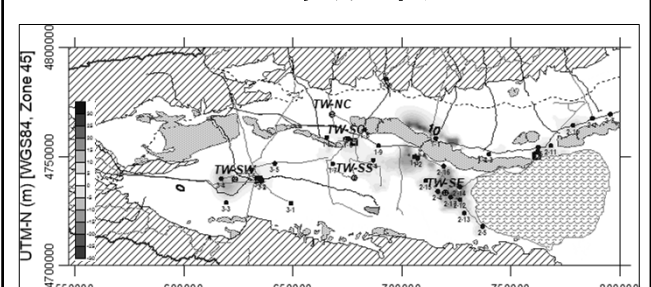


予測結果 (現状維持案)



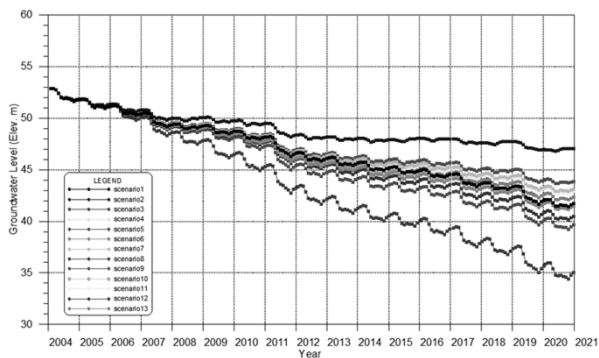
現状の地下水位之差(2020年12月、第17层)

予測結果 (計画実現案)

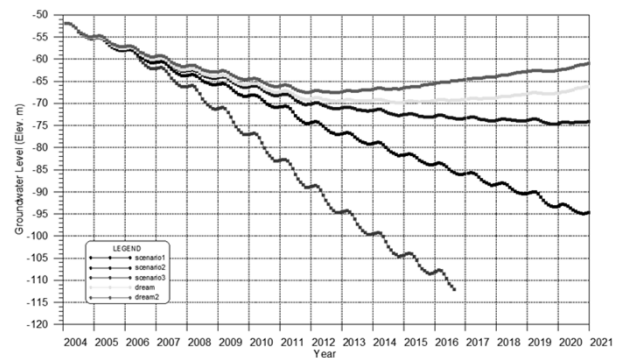


方案1(维持现状)的地下水位之差(2020年12月、第17层)

予測水位変動 (吐鲁番市中心部 : TW-SC)



予測水頭変動:理想案、最大の理想案 (鄯善县南部 : 2-14)



水収支予測結果

	流入量(億m ³)	流出量(億m ³)
方案1	从山区的流入量	抽水量
维持现状案	补给量	泉・坎儿井的流出量
方案2	从山区的流入量	抽水量
规划实现案	补给量	泉・坎儿井的流出量
方案3	从山区的流入量	抽水量
最危机案	补给量	泉・坎儿井的流出量
理想案	从山区的流入量	抽水量
	补给量	泉・坎儿井的流出量

将来計画別の地下水への評価

方 案	补给量	抽水量	补给量- 抽水量	托克逊县	南部	吐鲁番市 中心部	北部	鄯善县 南部	北部
1 维持现状案	595	6.48	-0.52	△	○	×	×~○	×	×~○
2 规划实现案	454	1.54	3.01	○	○	×	△~○	×	×~○
3 最危机案	7.13	12.09	-4.97	×	○	×	×~○	×	×~○
4 农田面积不变案	5.43	3.97	1.46	○	○	×	△~○	×	×~○
5 农田面积大增案	5.30	7.29	-1.99	×	○	×	×~○	×	×~○
6 现状用水定额案	5.93	6.42	-0.49	×	○	×	×~○	×	×~○
7 设定用水定额案	5.68	5.09	0.59	△	○	×	×~○	×	×~○
8 节水未实施案	6.09	7.39	-1.30	×	○	×	×~○	×	×~○
9 规划节水设施案	5.53	4.29	1.24	△	○	×	×~○	×	×~○
10 现状利用率案	5.94	6.46	-0.52	×	○	×	×~○	×	×~○
11 设定利用率案	5.67	5.05	0.62	△	○	×	×~○	×	×~○
12 托克逊县引水	5.32	5.37	-0.05	△	○	×	×~○	×	×~○
13 鄯善县引水	5.32	5.43	-0.11	×	○	×	×~○	×	×~○
理想案	4.63	1.54	3.09	○	○	×	△~○	×	×~○
最大的理想案	4.67	1.54	3.13	○	○	×	△~○	×	×~○

(億m³)

カリフォルニア州での地下水盆管理



カリフォルニア 州の地下水盆



加州の地下水盆管理法律系統

CALIFORNIA WATER CODE

The Groundwater Management Act
(AB 3030)

Local Groundwater Management
Assistance Act

Amendments to Local Groundwater
Management Water Code

Other legislation related to water supply planning

City and County Ordinances

加州

Groundwater Bulletin 118 (Update 2003)

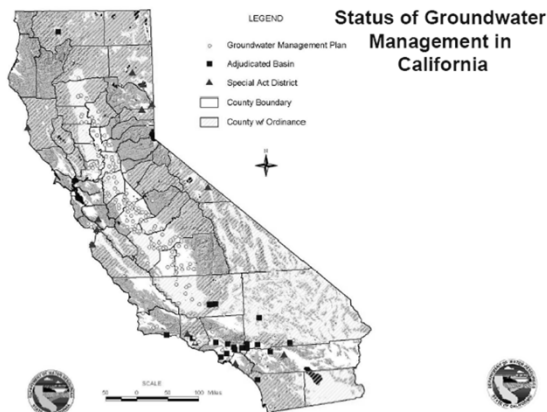
原版： 1953年

更新： 1975年
1980年

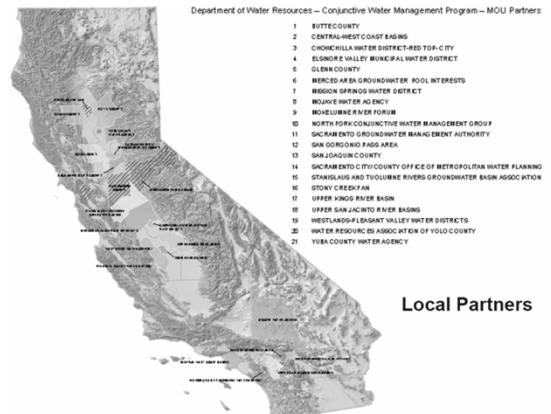
最新版： 2003年



加州の地下水管理状況



地下水管理のローカルパートナー



AB 3030 Procedures

1. 地下水管理計画採用公聴会実施(地方機関)
2. 地下水管理計画案作成
3. 地下水管理計画案公聴会(2回)
4. 反対意見考慮
5. 計画実施方法制定
6. 計画実施
7. 地下水盆内関係機関協調会議(年1回)

AB3030 Technical Components (1)

1. 塩水浸入制御
2. 水源保護地域・涵養地域抽出・管理
3. 汚染地下水移動制御
4. 井戸利用停止・井戸撤去実施方法策定
5. 過剰揚水対策立案
6. 地下水位・地下水貯留量観測
7. 井戸複合利用方法確立

AB3030 Technical Components (2)

8. 地下水人工涵養

9. 井戸建設政策策定

10. 地方機関による汚染地下水浄化、涵養促進、貯留増加、水再利用、取水事業の運営・管理

11. 地方機関と州政府・連邦政府の技術連携

管理実施地下水位(Sacramento)

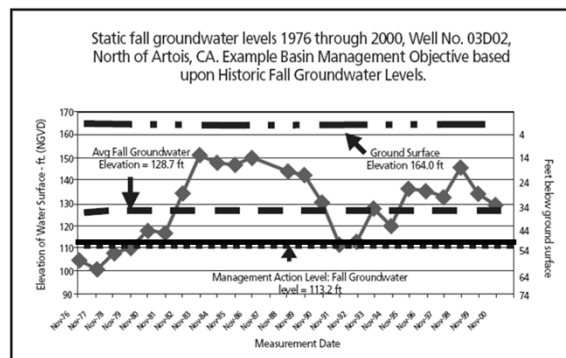


Figure 2. Example Basin Management Objective (BMO) for a specific well within a sub-area of Glenn County.

地下水資源の管理のために

- ❖ 地下水盆構造の把握
- ❖ 水文地質特性の評価
- ❖ 地下水位分布と変動の把握(モニタリング)
- ❖ 水質分布・変動の把握
- ❖ 地下水盆ごとの揚水量把握
- ❖ 水収支の解明
- ❖ 地下水障害の監視

45

参考文献

水収支研究グループ編

「地下水資源・環境論—その理論と実践—」
共立出版、1993年

JICA, 国際航業株式会社

「中華人民共和国新疆トルファン盆地における持続的地下水資源利用調査最終報告書」
独立行政法人国際協力機構(JICA), 2006年

DWR

「California's Groundwater Bulletin 118」
カリフォルニア州政府、2003年