

カリフォルニア州水計画更新 2009 における展望と挑戦

－水供給システムは将来の不確実性とリスクに対応できるか－

吉 永 健 治*

1. CWP Update 2009 策定の背景と目的

カリフォルニア州は世界的有数の農業地域であると同時に、San Francisco 市などの大都市を有し、将来の土地利用や気候変動の変化が水資源および水需給に顕著に影響する地域として注目される。カリフォルニア州の水供給システムは 60 年を越す年月をかけて鋭意人工的に構築されたもので、ダム、水路、ポンプ場、導水管などによる複雑な水供給ネットワークシステムを形成している。このシステムによりカリフォルニア州の農業、企業、公共水サービス、生物多様性やエコシステムは大きな便益を享受している。しかし、一方では、増加する人口と減少する水供給、複数年にわたる旱魃、水源の雪塊氷河の貯留の減少と洪水の頻度の増加、施設の老朽化、気候変動などの不確実性とリスクに対する脆弱性、システムを稼動するためのエネルギー消費、地表水の水質悪化と地下水の減少、Sacramento-San Joaquin River Delta（以下、デルタと表示）のエコシステムの劣化や魚種の減少など多様で困難な問題を抱えている。今日、カリフォルニア州は歴史上最も厳しい水危機の一局面に遭遇しているといっても過言でない。こうした状況に対して議会のポンプ取水に関する決定や魚類の保護のための新たな規制によってデルタへの水配分は 30% 削減された。また、カリフォルニア州水資源局（Department of Water Resources: 以下、DWR と表示）は州知事の支持を得て 2020 年までに都市水使用量を一人当たり 20% 削減するとしている。

カリフォルニア州の水需給と水供給を取り巻く状況は大きく変化してきており、DWR を中心に策定作業が進められている水計画、すなわち 2009 年カリフォルニア州水計画更新（California Water Plan Update 2009: 以下、CWP Update 2009 と表示）における新たな水戦略はカリフォルニア州の水需給政策と水供給システムの運営のあり方を大きく左右することになる。カリフォルニア州水計画（California Water Plan: 以下、CWP と表示）は 1957 年以降、水計画担当者にとって水資源に関する必要な情報を提供してきた。CWP は 5 年ごとに更新（Update）され、現在最終段階の作業が進められている CWP Update 2009 は 9 回目の更新になる。表 - 1 に、過去の CWP 更新における主要な内容が示されている。

CWP Update 2009 は、以前の CWP 2005 の枠組みと資源管理戦略に関する 2 つのイニシアティブ、すなわち①地域総合水管理（Integrate Regional Water Management: 以下、IRWM と表示）により地域

*東洋大学国際地域学部国際地域学科：The Faculty of Regional Development, Toyo University

表-1 CWP (California Water Plan) の経年的更新内容

CWP 更新経緯		更新の基本的構想
年次	テーマ	
1966	CWP の実施	Bulletin 160-66 において California Water Code で設定された CWP の一部実施に関する提案。水政策として、洪水制御、洪水原の管理、電力需要、水関連レクリエーション、水資源開発と魚類と野生生物との関連や水質に関心。
1970	CWP: 1970 年における展望	1990~2020 年における人口見通しを下方修正。灌漑可能面積の減少。建設中あるいは承認されたプロジェクトで 1990 年に必要な水量の確保が可能。国家および州レベルでの環境への認識の高まり。
1974	CWP: 1974 年における展望	Auburn, New Melones および Warm Springs 貯水池、加えて、周辺の水路が 1980 年までに開通することで水供給は良好な状況。河川の野生生物や景観を規定した新たな議会決議。更新内容として水質管理、人口増加と農業用水の供給量の推定。主要な政策として、水不足、水取引、農業用水の排水、水利用の効率化・経済性などについて指摘。
1983	CWP: 2010 年に向けた水利用予測と利用可能な水供給	技術的な面を強調。農業用水モデルの構築。特に、水、エネルギー・コストの増加による経済的影響。都市・農業用水の保全方法と影響と追加的な水需要に対する水開発。Hydrologic Balance Network in California 1980 による州規模の水供給フロー・ダイヤグラムの策定。
1987	カリフォルニア州の水: 将来を見つめて	Bulletin 160-87 は California における水問題に焦点。水管理、特に水質、デルタ、水政策に関する議論。4 年に 3 年の割合でカリフォルニア州水資源は将来の水需要を充足。
1994	CWP 更新: 広報 160-93	人口増加、土地利用、環境への水配分などが水資源に与える影響。更新された点は、①環境への配分と都市・農業用水、②水需要に見合った水需要管理、③平年と旱魃における水バランス、利害関係者が参加した初めての更新作業。
1998	CWP 更新: 広報 160-98	水供給の信頼性改善のための水管理オプションの評価。地域レベルの水管理オプションを州レベルのオプションに統合し、州レベルでの評価システムの確立。
2005	CWP 更新 2005: 行動のための枠組み	人々がどのように水資源管理を捉えているかという観点から枠組みの設定。総合的で統合的な方法での水管理アプローチ。これは DWR と農業、都市および環境関係者による協調的なプロセスの結果。初めて不確実な将来の水需要に対する持続可能な水利用への挑戦と行動を含む戦略計画を策定。

(注) CWP: California Water Plan, DWR: Department of Water Resources

出典: DWR (2009), CWP Update 2009, Vol.1, Chapter 1: Introduction, pp.1-14~15 を基に著者作成

が自らのニーズに適切な水計画戦略を実践し水自給を達成することを可能にすること、②カリフォルニア州全体の水管理システムの改善は、州管轄水プロジェクト (State Water Project: 以下 SWP と表示) のように大規模な水利施設に対する更新と州の経済にとって不可欠な水管理プログラムを提供すること、をベースとしている。また、自然環境に対する水管理の影響を最小限に抑え、必要な水供給を継続するために 3 つの基本的な行動、すなわち①既存の水供給システムから効用を最大化するための効率的な水利用、②公共の健康と環境を保護し、水供給の確保と水質の保全、③水管理の責任の一部として環境スチュワードシップ (Environmental Stewardship) の拡大、によって支援される。

CWP Update 2009 は、これまでの CWP と異なり、DWR による計画から州の水計画として見直

されることになり、州の水資源を管轄する 21 の州政府機関の代表からなる CWP 諮問委員会による最初の報告書であり、州の水関連機関の報告書 (Companion Planning Documents) を統合したものである。さらに、計画準備において参加範囲を地域代表まで広げて先住民を含む 45 名からなる諮問委員会と連邦機関との調整を得るなど広範な参画のもとで策定作業が実施された。CWP Update 2009 は、表 - 2 に示すように、①ビジョンとミッション (Vision and Mission)、②目標 (Goals)、③指導原則 (Guiding Principle)、④目的と行動 (Objectives and Actions) および⑤勧告 (Recommendations)、の 5 つの要素からなる。CWP Update 2009 は Vision 2050 として、2050 年に向けて現世代と次世代の全ての「有益な水利用 (Beneficial Uses)」に対して信頼できる安全で清潔な水供給を行うために水資源と水供給システムを管理する戦略的な道筋を設定する。具体的には、①公共の健康、安全およびコミュニティにおける全ての人々の生活の質を向上、②経済成長、企業の活力および農業の生産性の改善、③カリフォルニア州のユニークな生物多様性、生態系の価値および文化的遺産の保護と修復、を戦略とする。また、CWP Update 2009 には、新たな目標として、①気候変動による不確実性やリスクを減少し、水管理と洪水管理およびそれらに依存するエコシステムの持続可能性を高めるための適応戦略の開発や多様な行動に対する投資の必要性、②総合水管理 (Integrated Water Management: 以下、IWM と表示) の一環として、総合洪水管理 (Integrated Flood Management: 以下、IFM と表示) は洪水防御の拡充、緊急応答の改善、洪水原におけるエコシステム機能の向上および総合洪水管理システムの構築を目指すこと、③水需給と水供給に関する決定による便益と影響および州政府の資源へのアクセスは先住民を含む全てのコミュニティに対して平等であること、などが導入されていることが注目される。

CWP Update 2009 は、①戦略プラン (The Strategic Plan)、②資源管理戦略 (Resource Management

表 - 2 CWP Update 2009 戦略プランの要素

要素	各要素の戦略
ビジョン (Vision)	ビジョンは計画期間中におけるカリフォルニア州の水資源、管理、サービスおよび洪水計画に関する望ましい将来像について言及。
ミッション (Mission)	ミッションは CWP の唯一の目的とその必要な理由について言及。そのために何をすべきか、またどういう理由で誰のためか、について明確化。
目標 (Goals)	目標は計画期間中の水計画に関する望ましい結果について言及。それは州全体のビジョンを基礎としている。目標の達成には州、連邦、先住民および地方政府や関係機関の調整が必要。
指導原理 (Guiding Principles)	指導原理はビジョン、ミッション、目標をいかに達成するかを示す主要な価値や哲学について言及。言い換えれば、指導原理は、いかに決定を行い、必要な活動を進めるか、を明示。
目的 (Objectives)	目的として何を設定すべきか、また目標を達成するために、なぜそうした目標が必要かについて言及。
関連する行動 (Related Actions)	関連する行動は、いかに目的の達成に向けて行動すべきか、について言及。それは計測可能で時間制約的な条件での行動の必要性和高度な結果を重視。DWR の権限が及ばないいくつかの行動は州政府あるいは水コミュニティによって実施。

Strategies)、③地域報告 (Regional Reports)、④指導ガイド (Reference Guide)、⑤技術ガイド (Technical Guide) の5巻からなる膨大な分析と内容で構成されている。内容的には設定シナリオによるシミュレーションの結果など一部が未完成であるが、現在公共レビュー・ドラフト版 (Public Review Draft) が公共の意見を聴取するために公開されており、最終的な公表は2010年初頭の予定である。本稿は、著者が2009年8月にDWRにおける聞き取りにおいて入手した上記のドラフトのうち戦略プラン (第7章からなる) に関して、新たな要素と関心の高い事項について取りまとめたものである。

本稿は以下のような各章から構成される。第2章では、水管理行動に関する責務として、CWP 2005における経験と課題、気候変動と不確実な水供給、IWM、IRWM および IFM、気候変動に対する緩和戦略と適応戦略などCWP Update 2009の骨子を成す主要な要素について述べ、第3章では、カリフォルニア州の水資源に関して、資源の多様性、水供給、水利用および水質問題などについて言及する。第4章の水供給システムとエコシステムに関しては、複雑な水供給システムと老朽化および変化し劣化するエコシステムの現状について論ずる。第5章では、将来の不確実性とリスクおよび持続可能性に関して水供給システムに内在する不確実性とリスクに関するCWP Update 2009における対応策とアプローチについて記述する。第6章では、水需要や水供給に関する正確な分析のためのデータと分析の統合、技術に対する支援と投資、IRWMによる挑戦などに関して言及する。最後に、第7章では結論として、CWP Update 2009の実実施計画について紹介する。

2. 水管理行動に対する責務

2-1 CWP 2005 から学ぶ CWP Update 2009

水管理における行動と責務とは、カリフォルニア州の各市、農業や企業、野生生物が必要な時と場所において2050年までに安全で清潔な水の確保のための水計画とその戦略プランの各要素に関するロードマップを明らかにすることにある。これにはCWP Update 2009のビジョン、ミッション、目標を達成するための阻害要因の除去と好機を確実にするための主要な勧告を含む。カリフォルニア州は現在および将来世代の全ての「有益な水利用」に対して信頼できる水供給を行うために水資源を管理する戦略的な経路 (Strategic Paths) に従わなければならない。旱魃と洪水はカリフォルニア州固有の自然的サイクルであるが、その集中度や影響度は悪化する傾向にあり、将来の不確実性に対する挑戦が求められる。こうした挑戦のためには、ビジョンと目標、短期および長期的な行動の実実施計画、障害の除去のための勧告からなる戦略的なCWP Update 2009が必要とされている。

CWP Update 2009における戦略プランは、CWP 2005で学んだプロセス、すなわち、役割の拡大、他の州の参加や地域計画への努力、コミュニティの関心および技術的な諮問グループの意見などを踏まえて展開されている。CWP Update 2009は、カリフォルニア州が2050年までに全ての「有益な水利用」に対して持続可能な水利用や信頼できる水供給を確保するための州政府や水組合 (以下、

水コミュニティと表示)の役割を規定する。これは今日直面する問題と将来直面であろう重要な課題について言及し、州政府の緊急な挑戦と行動を規定するものである。また、CWP Update 2009 は州政府レベル、州内の水コミュニティおよび全ての水利利用者に対する短期および長期的な目標と関連する行動からなる実施計画に関する情報を提供する。

CWP Update 2009 における戦略は持続可能なシステムを達成するための水資源管理に有効な行動、具体的には資源管理戦略(後述)、計画策定のアプローチ、分析手段などについての概要を示している。これらの戦略と手段は、地方および州規模の水管理と洪水管理を支援する州政府の役割と責任に特別な注意を支払い、カリフォルニア州の水コミュニティの最近の経験から学んだ以下の基本的な教訓を基に取るべき行動を規定している。

- ① 持続可能な開発と水利用および環境スチュワードシップは、経済力を強化し、公共の健康と環境を保護し、生活の質を高めることによって可能である。持続可能な水管理は政策決定における社会、経済および環境的な価値に依存し、それは水および水関連資源を現在の世代のニーズに見合い、また環境を保護し将来世代のニーズを満たすような方法で開発すること必要とする。IFM および IRWM を含む IWM は多様な便益をもたらす行動によってカリフォルニア州の水供給の将来を計画する基礎となる。水供給および洪水システムに対する不確実性を減少させリスクを評価することは水利用、システムおよび資源を維持するための開発計画にとって不可欠な分析である。
- ② 水管理および洪水管理への挑戦は地域ベースで実施されなければならない。カリフォルニア州の地域の水理、人口、地形、社会・経済およびその他の違いによって長期的な観点から各地域のニーズに見合った複合的な水管理戦略が求められる。
- ③ 州における節水、リサイクルおよびシステムの効率化は地域や個々の水利利用者にとって基本的な戦略である。効率的な水利用による効果は将来の水供給や水質に大きな影響を与える。
- ④ 地表水とその他の水資源の利用を調整することにより長期間の地下水流域の貯水能力の利点を生かし、将来の旱魃や気候変動に対応できるように水供給の信頼性を改善する必要がある。これにはリサイクルされた都市用水のみでなく地表流出水や洪水、都市流出水やストームによる貯水、水取引、脱塩水なども含まれる。
- ⑤ 水は希少な資源であり水質を保全し効率の高い水利用を行う必要がある。
- ⑥ 地下水や地表水の貯水能力の改善が求められる。貯水能力は水管理担当者の多目的なニーズに応え、乾燥した年に有効な貯水機能としての役割を果たすことが求められる。
- ⑦ デルタの維持管理はエコシステムの保護と信頼できる水供給システムの確立によってデルタがユニークで価値を有する地区であることを認識する必要がある。
- ⑧ 州政府は、連邦、先住民族、地域および地方政府の水管理活動を調整する役割を担い、水管理行動に対する継続的な投資を確保すべきである。
- ⑨ 科学と技術の導入は流域、水源や地下水源への気候変動や他の圧力による脅威に対して新たな視点を与える。新たな技術と知識を活用して環境保全活動を行い、環境を保護し修復するような方法で水管理を行わなければならない。

2-2 気候変動と不確実な水供給

カリフォルニア州ではすでに水理（氷河、河川流量）、ストームの集中、温度、風、海面水位などへの気候変動による影響が観察されている。これらの変化に対する計画や適応策、特に公共の安全に対する影響や長期的な水供給の信頼性は水管理と洪水管理の担当者にとって最も挑戦的なタスクである。200年以上にわたって、カリフォルニア州政府による水管理と洪水管理システムは州の経済の活性化、水供給、衛生、電力、レクリエーション、および洪水防御に貢献してきた。しかし、こうしたシステムの基礎となっている気候パターンは今日のそれとは異なったものであり、しかも加速的に変化している。この変化は結果として不確実性をもたらし、水供給や水質、エコシステムおよび洪水防御を危険に直面させることになる。

カリフォルニア州の水管理および洪水管理担当者は広範な不確実性に対応しなければならない。不確実性は既存のシステム自体および将来起こりうる全ての変化に内在している。例えば、水管理担当者はカリフォルニア州の河川における流量が今年と比較して次の年は異なることは事実であることについて理解できても、これらの変化の時期や規模については不確実である。水配分に影響を与える科学的物質の流出などの脅威も不確実である。危機に瀕している生物種の保護も現況とは異なる水供給システムの変更を求められるかも知れない。今日エコシステムがいかに機能しているかについても多くの不確実性が存在する。例えば、デルタにおける海洋性の魚類の減少の理由、堤防の基礎の状態や地下水の復元の程度についても正確に知ることができない。

変化は長期間に緩やかにあるいは短期間に、また急激に起こる。緩やかな変化は、地域の人口、栽培作物の変化、降雨のパターンや海面水位の上昇などである。急激な変化としては地震、洪水、旱魃、施設の機能不全、科学物質の流出、あるいは意図的な破壊行動などが含まれる。こうした不確実性に対する政策と基準は技術的に可能な水利用と行動で水供給を確保できるものでなければならない。CWP Update 2009 においては、水資源管理に対する明確なコミットメントによるイニシアティブ、すなわち①政府の計画と管理に関する調整、②資源計画と管理の統合、③気候変動への適応、④不確実性、リスクおよび持続可能な管理、など基本的な行動によって構築される。これらのコミットメントは2050年まで、さらにそれ以降の将来世代に対してカリフォルニア州の持続可能な水利用と信頼できる水供給の方法に関する管理と計画にとって不可欠である。また、CWP Update 2009 は関連する州プラン（Companion State Plans）を包括するものでなければならない。CWP Update 2009 は他の州のプログラムと横断的な調整を図り策定される。

2-3 総合水管理、地域総合水管理および総合洪水管理

カリフォルニア州の多様で厳しい水管理の現状に対する新たな挑戦として多角的なアプローチを必要とする。IWM（総合水管理）は、アンブレラ・アプローチとしてIRWM（地域総合水管理）とIFM（総合洪水管理）における原則と行動を規定している。それは、あらゆる局面およびレベルにおける水管理、すなわち地域および州全体における多目的利用および便益のために将来のリスクと不確実性を考慮した資源管理戦略によって水供給システムと水利用の維持のための水管理を実

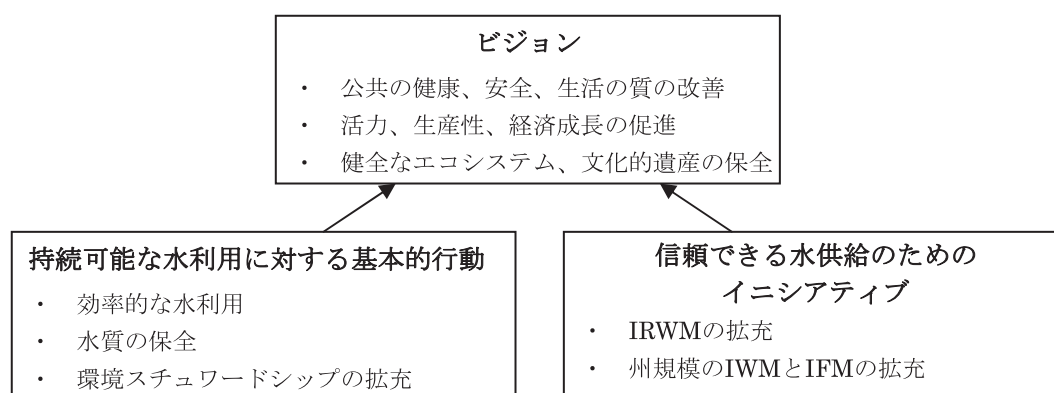


図-1 IWM の概念図

出典：DWR (2009), California Water Plan Highlight, pp.10 を基に著者作成

施する。そのために IWM は総合的な計画と管理の原則を適用する。IWM は、①広範で多様な便益を提供すること、②現在および将来の水需要に見合うこと、③水資源や水供給の質を改善すること、④早魃や洪水など厳しい水理上の出来事に対して弾力的に対応できること、⑤自然資源を維持しエコシステム機能を向上し修復すること、などを追求する。図-1 に、こうした IWM の概念を示す。

一方、IRWM は多様な水戦略のポートフォリオに依存する。土地計画担当機関との早期の調整は水供給担当者や土地利用計画担当者が将来の成長を予想し計画立案するのに有効であり、地域の成長に伴う追加的な水需要が水供給能力を超過しないかどうか見極めることができる。地域における利害関係者とのパートナーシップの形成は水およびその他の資源の管理や基金 (Fund) に対する最適で効率的な運営を可能にし、広く公共の支援を得ることができる。例えば、地方政府、先住民、地域の水関連組織などとパートナーシップを形成することで水供給者は単独機関では不可能なプロジェクトを実施し便益を提供することができる。具体的に、パートナーシップは地方政府や関係機関に対し、①近隣の水供給者と緊急時における良好な関係を形成することにより水供給の信頼性の構築、②地下水利用および複合的水管理 (Conjunctive Management) による運用上の弾力性の確保、③流域管理による水質の確保、④水管理および資源管理に関わる他機関との協力によるコスト削減、⑤野生生物の生息地の保全の促進および⑤地域資源管理の目標の達成、などを可能とする。

さらに、IFM は、洪水管理に対する単一的なアプローチに依存することなく、総合的な洪水管理を構築するためのさまざまな技術、すなわち構造的 (または伝統的) な洪水防止プロジェクト、非構造的 (制度的) な手段 (例えば、土地利用の実践) や自然の流域機能の活用などによって達成される。CWP Update 2009 では、各流域の特徴に依存しつつ、農用地の管理、複合的水管理、水路改修、エコシステムの修復、森林管理、土地利用計画と管理、水供給システムの操作、都市流出水の管理および流域管理を含む洪水管理戦略を取り入れている。

2-4 気候変動に対する緩和戦略と適応戦略

カリフォルニア州の水資源はすでにさまざまなストレスを受けており、気候変動による追加的なストレスは信頼できる安全で清潔な水供給の競争を激化させることになる。GHG 排出の削減やクリーン・エネルギーの利用拡大などの緩和戦略行動を促進する一方で、州の水コミュニティは予期される変化に対する適応戦略行動に集中的な努力が求められている。IPCC の第4次報告書（2007）は、適応戦略は過去の排出によってすでに避けられない温暖化による影響に対応するために必要であると指摘する。気候変動に関する理解が深まるにつれて、州の水コミュニティの挑戦は、水利用の弾力性の改善、リスクの削減およびエコシステムが依存している水管理および洪水管理の持続可能性の向上に関する戦略を開発し実践することにある。水管理は気候変動が現実的なものとなったとき、以下のような緩和戦略と適応戦略に関する二重の役割を果たさなければならない。

① 緩和戦略（Mitigation Strategy）は、水関連エネルギー利用に伴う GHG 排出の削減を意味する。水公益事業は消費者に良質の水供給を行うためにエネルギーを消費し、廃水処理公益事業は安全な集水、処理および公共の健康や環境を守るための廃水処理にエネルギーを必要とする。GHG 排出の削減は水管理担当者の重要な責務であり、水とエネルギー利用の効率化はあらゆる機会を捉えて追求されなければならない。しかし、同時にカリフォルニア州は、GHG 排出の最も少ないエネルギーである水力発電によりカリフォルニア州のエネルギーシステムおよび気候変動の緩和に対して大きな便益をもたらしている。

② 適応戦略（Adaptation Strategy）は、変化する気候に伴って社会や文化が適応し変化していくことを意味する。適切な水計画の目的や行動の明確化はカリフォルニア州の水供給システムが気候変動に適応するための事前準備として有効である。

CWP Update 2009 は、2つのイニシアティブ、すなわち IRWM の拡充と州全体の水管理および洪水管理システムの改善が、2050年に向けて信頼性の高い安全な水供給を確約するのに重要であるという認識に立脚している。CWP Update 2009 では効率性を高めるために、①システムに内在する不確実性の認識と削減、②システムの管理とリスクを低下させる管理運営の評価、③資源および水管理と洪水管理システムの持続可能性に対する支援とアプローチの適用、という3つの鍵となる計画作成アプローチを導入する。

カリフォルニア州の水供給システムは大規模で複雑であり、州、連邦、先住民族、地域、地方の機関など全てのレベルにおける政策決定において協力と協調が必要とされる。CWP Update 2009 は管理行動が同一資源をめぐる競争するとき、これらの関連機関はシステムを理解し管理する共通の分析のためのアプローチが求められる。今日の不確実性と将来起こるかもしれない不確実性を考慮して、これらの関連機関はリスクと利得のバランスがとれた健全な投資を行う必要がある。

2-5 複数の将来シナリオ

CWP 2005 以前の CWP は将来に関して唯一の仮定に基づいて策定された。CWP Update 2009 における複数の将来シナリオの適用は、政策決定者、水管理担当者および計画担当者に対して、可能

表-3 3つの将来ベースライン・シナリオ

将来シナリオ	シナリオの仮定と内容
1. Current Trend シナリオ	現在の傾向が将来とも継続すると仮定。2050年には人口60百万人。十分な住宅供給がSacramento Valley内で可能。ある地域では都市開発や自然資源の回復が拡大、灌漑農地が減少。州政府に対する洪水被害や水質問題、絶滅品種の保護などをめぐる定期的な訴訟の増加。総合的な計画策定に関する規制の欠如、地方の計画および管理担当者にとって不確実性が存在。
2. Blueprint Growth シナリオ	民間、公的機関および政府機関が一体となって現在より資源集約的でない効率的な計画策定と開発の実施。人口増加は45百万人程度に抑制。コンパクトな都市開発は通勤を緩和。カリフォルニア州は水およびエネルギーの節約に対応。農業用地の都市開発への転換は緩和し環境の回復と洪水防御が進む。議会の決議によって水質改善、魚類および野生動物の保護に対するプログラムおよび洪水からコミュニティを保全する対策。
3. Expansive Growth シナリオ	将来の状況は現在より資源集約的。2050年には人口が70百万人。人々は人口密度の低い地区での住宅を好み農村地域へと都市が拡大。水およびエネルギー節約プログラムが提案されるがその速度は緩やか。灌漑農地は減少し都市開発および自然回復が進展。水質や絶滅種の保護に対する訴訟の増加と整合性のない規制の整備統合。

出典：DWR (2009), CWP Update 2009, Vol.1, Chapter 2: Imperative to Act, pp.2-13~14 を基に著者作成

な状況や不確実性のもとで異なる管理行動がどのように反応するかについての情報を提供している。異なる将来のシナリオを考慮することで、CWP Update 2009 は異なる資源管理戦略（以下、反応パッケージ (Response Package) と表示）を組み合わせて水管理および洪水管理についてさらに広範な評価を実施することができる。

CWP Update 2009 は、水管理決定に関する将来の状況を理解するために、表-3 に示す3つのベースラインとなる将来シナリオが用いられている。この将来シナリオは現在の計画以上に管理に対する追加的な政策的介入がない場合に起こりうる変化を示している。各将来シナリオは水需要と水供給に対して異なる影響を与える。各将来シナリオは人口や灌漑農地など異なる80の要素によりどのような将来が描かれるかという仮定を含んでいる。これらの要素は水コミュニティにとってほとんどコントロールできるものでない。

3. カリフォルニア州の水資源

3-1 水資源と資源の多様性

カリフォルニア州は、文化、エコシステム、地理および水資源において変化に富む地域である。この“変化に富む”と言う表現は水資源を表現するためには最も正確な言葉である。降雨はカリフォルニア州の主要な水供給源であり、地域によって、季節によって、および年によって異なる。こうした変化を考慮すれば、カリフォルニア州の大規模（州/連邦）および小規模（地方/地域）のプロジェクトやプログラムが適切な地区に適切なタイミングで実施され水利用と洪水の排水を可能としてきた。このシステムは農業や都市の水管理の目的に見合ったものであった。

最近の旱魃（2007、2008年）において、地表水と地下水による水配分が可能であったが、貯留

水量は非常に低い状況にあり、エコシステムへの水供給と利用可能な農業用水は都市用水に比較して大幅に減少した。また、多くの水利用者にとって旱魃時における地下水への依存は高いコストがかかる。カリフォルニア州のエコシステムは北部の山脈の流域から沿岸および内陸の砂漠まで及び、人口増加や経済成長を支える自然のインフラとも言える。多様な土地利用形態はアメリカ杉 (Giant Redwoods) のような珍しい種を保護し、鳥類、哺乳類、爬虫類の多くの種の生息地を提供する。カリフォルニア州の環境支援は 5,000 の原種の花の種 (1/3 以上が州固有) と約 1,000 の外来生物種を対象としている。

1800 年以降、カリフォルニア州のエコシステムは水生や沿岸の生息地の破壊や純粋な水に生息する生物多様性の減少を経験してきている。1800 年代における水利開発や金採掘、ダム建設、汚染と洪水コントロール、都市化、外来生物種の導入などは州の流域、湖沼およびエコシステムの健全性の減少に影響を与えてきた。多くの河川や流水は通常の水量を維持できず生物の原種や生息地の破壊、商業漁業の進展および水質の低下によってエコシステム機能が失われている。デルタはカリフォルニア州の中心部に存在し、エコシステム、水供給など現在のカリフォルニア州にとって不可欠な地区である。しかし今日、デルタは危機的な状況にある。エコシステムは劣化し、魚類の数は減少し、デルタからの水供給は信頼性に欠け、水質の低下は飲用水としての基準に適合するために処理コストがかかり、堤防の決壊の可能性に対する脅威は農業、都市および環境利用を危険に曝している。

一方、デルタにおける土地利用は異なるモデル、すなわち都市集中型、移行型、混在型の開発が出現しつつある。最近の州の政策や投資はこのモデルに沿って地方の土地利用の開発決定を行う傾向にある。このモデルは州全体のプロジェクトで実施されており、土地利用、流域管理および洪水原の維持などの要素が重要な役割を担う。LUSCAT (Land Use Subcommittee of the Climate Action Team, 2008) による報告によれば、農業は肥沃な土壌、穏やかな気候、そして利用可能な水量のある土地で生産活動をおこなうべきと指摘している。生産性の高い主要な農地が都市開発に転用されれば、農業は他の地域に移動せざるをえず水資源や他の資源に影響を与える。逆に、コンパクトで複合的な土地利用による都市開発は土地利用形態に起因する水需要を削減できる。また、エコシステムを農村および都市開発に統合することにより水資源の競合を避けることができる。

3-2 水の現況：水供給、水利用および水質

カリフォルニア州の水調査によれば既存の危機を分類することができる。例えば、デルタは州の水供給システムや他の重要な施設に対してハブ (Hub) 的な機能を果たす一方で、水供給の信頼と質を脅かす重大なエコシステムの問題や地震のリスクに直面している。また、多くの地下水脈が過剰な取水と汚染の被害を受けている。南カリフォルニア州の重要な水資源であるコロラド河は歴史的に旱魃に見舞われ、7つの州に水配分するための水利に疑問が出されるようになった。カリフォルニア州全体において堤防の耐用年数が進み、洪水原に居住し、仕事に従事する人々に洪水のリスクが高まっている。将来の気候変動の影響は不確実であるが、すでにその影響が顕著になってきて

いる。

シエラ・ネバタ山脈の春の平均的な雪塊氷原は前世紀に 10% も減少し、1.5 百万 acre feet (以下 a.f. と表示) の雪塊氷原が消失した。同じ時期にカリフォルニア州の沿岸の海面レベルが 7 インチ上昇した。気候の乱れにより洪水パターンにおいてピークフローが上昇してきた。他の極端な例として、南カリフォルニア州の各市は過去 10 年間に 2 回も最も少ない年間降雨量を経験した。わずかに 2 年間に Los Angeles 市では乾燥と降雨が多い年を経験してきた。州の最大の地表水の“貯水池”はシエラ・ネバタ山脈の雪塊氷原である。気候変動は雪塊氷原の減少を伴ってカリフォルニア州の水管理システムに大きな影響を与える。氷原の融雪は年平均で 15 百万 a.f. の水量を生み出し、毎年 4 月から 7 月にかけてゆっくりと流出する。州の水利施設は春先の流出量を捉え、それを乾燥する夏期や秋期に分水する。DWR は、歴史的なデータや水理モデルを基に 2050 年までにシエラ・ネバタ山脈の雪塊氷原が過去の平均に比して少なくとも 25% 減少すると予測している。また、雪塊氷原は気候変動による温暖なストームの影響で少ない積雪のために減少するとしている。この雪塊氷原の損失は水供給にかつてない脅威をもたらすことになる。

過去 50 年以上、カリフォルニア州は拡大する水貯留ネットワークや水輸送施設、地下水開発、最近では水効率の改善によって水需要を満たすことができた。21 世紀における挑戦の一つは気候変動に対して水供給システムを適応させることである。気温の上昇、変化する降雨や流出パターン、海面水位の上昇などに対して、水供給、洪水および他の自然管理による効果的な管理能力を適用できるようにしなければならない。また、水供給および水質に対する挑戦は地方および地域スケールで追及されるべきである。ある地域では節水および水効率の改善が図られたにもかかわらず、人口増加とともに水消費量も増加していく。州の多くの水コミュニティはその供給の限界に達しつつある。各コミュニティの気候の変化、旱魃、汚染の影響度合を推定するには環境に関するデータが収集され、それに基づいた一貫性のある総合的な方法で分析が行われるべきである。

外部の要素も利用可能な地表水に影響を与える。デルタから SWP や中央峡谷平原プロジェクト (Central Valley Project: 以下、CVP と表示) への分水は、連邦議会による魚類の種の保護のための議決やその他の要因によって大きく制限されている。これにより SWP の 2009 年における当初水配分は 15% にとどまる結果となり、歴史的にも 2 番目に低いものとなっている。CVP に対する 2008 年の水配分量は 5.7 百万 a.f. と見積もられている。これは、過去 CVP が約 7 百万 a.f. を農業、都市用水および環境に供給してきたのに比して約 20% 近くの減少となる。旱魃の期間、カリフォルニア州は歴史的に地下水に依存してきた。しかし、多くの地下水源が汚染され、将来地下水を水バンク (Water Bank) として利用するためにはその復元が求められる。さらに、地下水源は気候変動に対して無関係であるわけではない。事実、地下水の復元のパターンは歴史的に見て大きく変化している。旱魃は気候変動によって拡大解釈されているかもしれないが、過剰な地下水の取水を避けるためにはさらなる地下水流域の管理が必要であり、地下水の貯留能力を高め既存の過剰取水を削減するための好機を利用しなければならない。しかし、地下水の資源管理は地表水の管理に比べて、実際に観察できないことから一層複雑である。

カリフォルニア州は2007年、2008年、そして2009年においても早魃の影響を受けている。増加する人口、ポンプ取水の削減に関する議会の議決、あるいはデルタの魚類の種を保護するための規制などで水供給が減少している。カリフォルニア州は世界で最も生産性の高い農業地域の一つである。ほとんどの生産は灌漑なしでは成り立たない。平均年において、州の農業は地表水と地下水からのポンプ取水による43百万a.f.のうち、34百万a.f.の水量で9.6百万エーカーの農地を灌漑している。農業用水の削減は複数の理由により困難である。まず、州の農業用水利用は、大規模な地域スケールを考慮すれば、一般的に効率的である。複数の地域における個々の農場の効率性は低いかもしれないが、一つの農場で利用される水はしばしば近隣の農場で再利用される。次に、多くの作物にとって、生産量は作物水需要量に直接的に関連する。使用可能な水量の減少は直接的に生産量の変化に影響する。水管理戦略上重要なことは生産量を減少させることなく水効率性を向上させることにある。2008年に、州知事は州全体の早魃を宣言し、州の関連機関に都市用水の一人当たりの節水を2020年までに州規模で20%削減するよう指令を出した。節水は州の水供給を確保する重要な手段の一つであり、デルタのエコシステムを保護し改善するための方法でもある。

4. 水供給システムとエコシステム

4-1 複雑な水供給システムと老朽化

カリフォルニア州は、信頼できる純粋な水供給、洪水による生命や財産の保護、早魃への対応、環境的価値の維持などを提供するために州全域に構築された水供給システムに依存している。これらの水管理システムは構造物とその運営政策と規則からなる。施設には1,200を超える州、連邦および地方の貯水池、導水管、水路、処理プラントおよび堤防などの構造物を含む。水供給システムは相互に連結され、一つのシステムの運用は他のシステムの円滑な運営に依存しており、いかなるシステムの失敗に対しても脆弱である。水供給システムの再構築は構造的な要素の追加あるいは除去を必要とし、水管理および洪水管理システムを統合するための重要なプロセスである。水供給システムは物理的な要素(水源、貯水池、河川、ポンププラント、水路など)および制度的な要素(運営規則、土地利用方法、環境規制など)の両方を包含する。システムの再構築は他の構造物や制度的な要素の運用を最適化するための好機を提供する。システムの運営における鍵は、個々のシステム要素を統合し連携することにより、一つのシステムの要素の変化が他のシステムの要素にどのような影響を与え、その変化に伴うバランスをどう維持するか、という点にある。

既存の水供給システムの水利施設は老朽化とともに維持管理やリハビリのためのコストが必要となっている。加えて、多くの挑戦すべき課題、例えば、増加する人口に見合った需要や変化する水利用パターン、地震や洪水などのような破滅的な自然の出来事、気候変動に伴う変化への適応など、新たな挑戦を求められている。既存の水供給システムが、上記の課題による物理的および運営上の変化に対して施設能力、規制および新たな環境要素の変化に追従できなくなれば水供給に重大な支障が生じる。

老朽化した水利施設は公共の安全、水供給の信頼性および水質の低下などのリスクを包含している。すでに、SWP の施設は 30 年以上、連邦政府の CVP の施設は 50 年以上を経過している。地方の施設には 100 年近いものもある。現在の水供給システムの施設の劣化、機能低下、同様に地方の水供給システムの老朽化は、過去何年間も維持、改修およびリハビリに対する投資を怠ってきた結果である。カリフォルニア州の公共政策研究所は州の水供給および污水处理システムの施設の維持管理費を約 400 億ドルと必要と見積もっている。気候変動の影響に関する予測は決して完全ではないが、それに対する施設の弾力性、特に水管理システムの運営に関する基本的な戦略の確立が求められる。既存水利施設の改善は単独機関のみでは達成できず、多くの関係する機関の協力が必要である。

4-2 変化し劣化するエコシステム

デルタにおけるエコシステムの変化の兆候は顕著である。デルタのエコシステムはさまざまな問題に直面しており、特に、外来生物種の進入、ポンプ施設の劣化および都市・農業用水の汚染は水質を低下させ、魚種の消滅などの脅威となっている。デルタを取り囲む都市開発は野生生物の生息地を減少させ、エコシステムの将来における修復の好機を失い、デルタの水輸送システムの機能低下を招いている。デルタの堤防システムは水生および沿岸植物にとって重要な土地と水のダイナミックな接点を遮断してきた。デルタは水供給、エコシステムおよび現在のカリフォルニア州に不可欠な地区である。デルタのエコシステムの改善は水供給システムの改善が前提条件となる。とりわけ、気候変動はデルタの問題に対する挑戦をさらに困難にしている。水需要と利用可能な水量との季節的なミスマッチが拡大し、エコシステムの管理条件は一層不確実になってきている。

信頼できる水供給と弾力的な洪水防御は、水資源管理のための主要な目標であり、基本的な行動である持続可能な環境スチュワードシップが必要とされる。適応能力と持続可能なシステムの構築には生物多様性やエコシステムのプロセスを維持し改善するための水管理および洪水管理プロジェクトが要求される。また、水管理や洪水管理システムはエコシステム機能を保全し向上するために持続可能で経済的でなければならない。エコシステム機能の保全のためのシステムの計画や設計は厳しい自然の変化に対して弾力的でなければならない。さらに、既存の環境に対する気候変動以外の圧力を減少することによって、エコシステムは新たな圧力や気候変動による不確実性に適応できる。適応能力とはシステム、組織および個人が、①実際あるいは可能性のある変化や出来事に対して調整すること、②重要な機能や関係を支援する既存あるいは新たな機会を利用すること、③結果に対して被害を緩和し、システムの失敗から回復することができるシステムの能力を意味する。また、弾力性とは変化後の状態から回復し適応する資源あるいは自然の能力を意味する。

IFW は洪水管理に対する総合的なアプローチであり、総合的な水管理のコンテキストにおいて流域規模での土地および水資源を考慮するもので、洪水原の便益を最大にし、洪水による人命の損失や財産の被害を最小限に抑え、定期的な洪水によるエコシステムによる便益を認識するものである。このアプローチは、①広域な水資源管理と土地利用計画における洪水管理に関する行動のリン

ケージ、②地理的および水機関の横断的な調整、③水供給システムの将来における好機と可能な影響評価の必要性、④洪水原の多角的な利用の好機、⑤環境スチュワードシップと持続可能性の重要性とカリフォルニア州のエコシステムの多様性に対する洪水の基本的な役割、について理解を深めるものである。

デルタのエコシステム機能は失われつつある。地震による堤防決壊の危険に加えて、年間の水需要の増加や気候変動による影響はデルタが依存する水供給とその信頼性を低下させている。こうしたデルタを取り巻く変化は経済、食糧安全保障、生活の質に影響を与えることになり、州政府はデルタの多様な利用を保全・保護するための行動を起こしている。2006年に州知事によるデルタ・ビジョン委員会、ブルーリボン・タスクフォースによってデルタ・ビジョンの検討に着手し、2007年11月には“*Our Vision for California Delta*”を公開し、2008年には“*Delta Vision Strategic Plan*”を提唱している。これらにより水供給の信頼性の低下に歯止めをかけ、デルタのエコシステムの喪失を防止するための確固たる行動をとることが要請されている。

5. 将来の不確実性とリスクおよび持続可能性

5-1 水供給システムに内在する不確実性とリスク

CWP 2005は2つのイニシアティブにより水供給に対する信頼性の改善のための枠組みを提供した。1つ目は、水資源および水質、地方への水取引による水供給、流域保護、汚染処理とリサイクルおよび地方のエコシステムの保全などの関連する資源の管理を多面的に統合することによって地方の水利用を改善しようとするIRWMに重点をおいている。2つ目は州全体の水供給システムを維持・改善することが強調されている。これらの2つのイニシアティブは、2050年にむけて信頼できる安全な水供給を確保するというCWP Update 2009における戦略プランの基礎になっている。CWP 2005に比較してCWP Update 2009は将来が不確実で変化が起り続けるという認識に立ち、州および地域全体の水供給システムの計画アプローチに3つの主要な要素を取り入れて上記の2つのイニシアティブの効果を高めることを意図している。その要素は、①システムに内在する不確実性を認識し減少させること、②システムの管理を阻害するリスクの定義と評価、受け入れられるレベルにリスクを減少させる管理と実践の選択、および③資源や水管理および洪水システムの持続可能性を支援するアプローチ、に重点をおいている。

過去の洪水計画アプローチは被害の減少および公共の安全に焦点が当てられてきた。このアプローチは洪水流量をダム、堤防システム、バイパスおよび水路の拡大などの構造物によって制御するものである。それは大きな洪水保護の便益をもたらした一方で、構造物建設プロジェクトは大規模なピーク流量、環境資源とのコンフリクトおよび洪水リスクの増加など予期しない結果をもたらすことになった。こうした経験から、洪水計画担当者は洪水原、水供給および多様な便益をもたらす環境機能について理解を深めて総合的な洪水システムを構築する必要性に迫られることになった。加えて、地震、大洪水や早魃によるリスクは一般的に理解されているが、水供給システムに内

在する不確実性や直面するリスクについての十分な認識がなかったため、システムの管理は今日の基準に照らして見ると比較的単純かつ確実にリスクの少ないものと思われてきた。しかし、こうした伝統的な計画アプローチは将来における持続可能な水資源管理には適用できないことが明確になっている。

5-2 CWP Update 2009：不確実性、リスクおよび持続可能性

カリフォルニア州の水供給システムの管理は大規模かつ複雑なため、州、連邦および地方レベルの政策決定者による協力と協調が要求される。CWP Update 2009 では、特に同一資源の利用が管理行動において競合する場合にシステムを理解し管理するために、これらの 3 政府機関が共通の分析アプローチを共有する必要性を強調している。また、今日の不確実性と将来起こりうる不確実性を考慮して、リスクと便益のバランスが取れた投資が求められる。また、CWP Update 2009 は IRWM による便益を重視し、全体の IWM に組み入れられている。IRWM と CWP Update 2009 は、理解、評価、地方および州全体の水管理の改善のためのデータの基準化、代替的な管理戦略、プロジェクトの評価および選択に対する共通の方法を促進することを目的としている。

CWP Update 2009 は、データの基準化および州全体の水管理システムについての理解、評価および改善のために共通したアプローチの適用を促進している。DWR は水計画情報交換（Water Planning Information Exchange: 以下 Water PIE と表示）を開発し、データの共有および既存のデータベースやウェブサイトのネットワーク化を進めている。また、GIS ソフトウェアを利用して分析能力の改善、州全体の土地利用、水利用および将来の資源管理の行動戦略の調査を実施している。これらのアプローチは将来の計画に以下のような不確実性、リスクおよび持続可能性に関する考え方を導入する。

- ① 不確実性： 水担当者は将来の水計画策定において不確実性に直面している。例えば将来、どのように水重要が変化するか、どのようにエコシステムの健全性が人間の水資源利用に反応するか、どのような災害が水供給システムを混乱させるか、気候変動が利用可能な水量、水利用、水質およびエコシステムにどのような影響を与えるか、など考慮すべき不確実性の問題が多い。その目標は、現在の不確実性を認識し、将来の不確実性を予期し、可能な限り不確実性を減少することである。そのためにはデータの収集と管理および分析ツールを改善し、水資源担当者が水供給システムにおけるリスクを理解するための支援が必要である。DWR は、将来の気候変動による水資源への不確実な影響を減少させるために気候変動に関する情報を水供給システムの計画と運営のプロセスに組み入れることとしている。
- ② リスク： 望ましくない出来事が起こりうるある一定の確率があり、仮にそれが起これば結果を伴う。例えば、洪水による堤防の決壊は、それに伴う人的および経済的な影響度を推定する必要がある。同様に、厳しい旱魃は平均で 30 年間に一回程度の割合で生じるかもしれないが、結果として何十億ドルもの被害をもたらす。
- ③ 持続可能性： 過去数十年以上にわたって、現在の水管理方法や将来の変化を考えたとき、持

続的なエコシステム、水利用、土地利用およびその他の資源利用はどうあるべきか、ということに関して疑問が投げかけられ、政策決定者、水管理担当者、計画担当者は資源の長期的な持続可能な管理の必要性を認識してきた。これは、気候変動、人口増加、エコシステム機能の低下などに直面して真実味をおびてきており環境面に対する緩和戦略が求められている。水供給システムにおける不確実性とリスクを考慮すれば、水管理戦略は持続可能な水供給、洪水管理およびエコシステムを提供することが求められる。変化は絶えず起こり、将来、別の不確実性やリスクが起こるうことを認識して、水管理戦略はダイナミック、適応可能かつ持続可能でなければならない。

カリフォルニア州の水供給システムには広い意味で、以下のような2つのタイプの不確実性が存在する。1つ目の不確実性は地震や洪水のように自然に内在する生起がランダムに生じる。このタイプの不確実性は偶然に依存する不確実性で、データの収集や分析で減少できるものではないが、不確実性を明確にするためには有効である。2つ目の不確実性は知識あるいは科学的な理解の欠如に関わっている。このタイプの不確実性は認識（知識ベース）の不確実性として知られている。原則的に、認識の不確実性は追加的なデータや情報の収集により知識を改善することで削減できる。

不確実性の理解とともに将来の水供給システムが直面するリスクについても正当に評価されなければならない。ほとんどのリスクは洪水、地震、旱魃などのような偶然の出来事に起因するが、予期した以上の水需要の増加、塩水の浸入あるいはエコシステムの劣化などによるリスクも起こりうる。全ての計画策定において不確実性やリスクを分析することは不可能であるが、可能な限り、直接列挙法、感度分析、ゲーム理論、時系列分析などの手法を用いてシナリオ分析と組み合わせ分析を行うことが必要である。DWR および関連機関は将来の計画にリスク評価を実施し始めており、CWP Update 2009 では資源管理担当者に IRWM に関する計画にリスク評価を導入するよう求めている。リスク評価の実施により持続可能な将来の計画策定において便益とリスクとのバランスを保つための基礎的な情報を提供することができる。リスク評価の計画策定の事例として、① Delta Risk Management Strategy、② California Statewide Levee Database、③ DWR Economic Analysis for Flood Risk Management、④ Least-Cost Planning Simulation Model、⑤ Presenting Uncertainty about Climate Change to Water-Resource Managers、などがある。

カリフォルニア州の水資源は有限であり、過去 150 の歴史において、今日より一層注意深い持続可能性に配慮した管理が求められている。持続可能な水供給システムとは将来世代がニーズを満たす能力を妨げることなく、現在のニーズを満たすことを意味する。CWP Update 2009 において、資源の持続可能性の概念を水計画策定に導入することは将来の水計画の更新において開発されるべき継続的なプロセスおよびアプローチを包含することを意味する。このプロセスは起こりうる望ましい結果を規定することより持続可能な計画を策定するための原則である。2002 年以降、持続可能な水資源円卓会議（Sustainable Water Resources Roundtable: SWRR）は州、連邦、企業、非営利団体および研究機関を支援し、水資源に関する理解を促進し、持続可能性を向上するためのツールの開発を進めてきた。SWRR は水資源の持続可能性についての議論は、人口、土地利用、気候変動およびエネルギー利用のような主要な要素に関する理解が前提となるとして、表 - 4 に示す水資源管

表 - 4 SWRR の原則と指標

原則	SWRR 指標
1. 水利用	①再生水資源、②環境に対する水供給、③水利用の持続可能性
2. 水質	④人間が利用可能な水質、⑤環境における水質、⑥水質の持続可能性
3. 人間の利用と健康	⑦取水と水利用、⑧環境における人間の水利用、⑨水依存資源の開発と利用 ⑩人間の健康
4. 健全な環境	⑪生態系の状態のインベントリー ⑫生物資源の量と質
5. インフラと制度	⑬インフラの能力と信頼性 ⑭制度の効率性

出典：DWR (2009), CWP Update 2009, Vol.1, Chapter 5: Managing an Uncertain Future, pp.5-27~28 を基に著者作成

理のための 5 つの持続可能性に関する原則と 14 の指標を定義している。

6. データと分析の統合

6-1 技術に対する支援と投資

分析能力の向上に対する投資は水管理担当者が直面する挑戦に対してはるかに遅れている。デルタ管理の改善、将来の気候変動、拡大する早魃および洪水による影響に対する準備に向けた技術的能力の開発のための新たな投資が必要である。正確な技術情報の提供は政策決定に不可欠であり、技術的専門家と政策決定者は対話を通じて技術的能力の開発を促進しなければならない。技術的能力の開発には以下の 2 つの役割が求められる。

① 不確実性を考慮した政策決定に対する技術的支援： 政策決定者は、水供給システムに関する基礎的な科学的理解や水管理の代替策について政治的あるいは社会的に重要な不確実性が存在するときでさえ、水管理に影響する問題に関する行動をとらなければならない。例えば今日、科学者は長期の気候変動がカリフォルニア州の水管理および洪水管理にどのような影響を与えるかについて正確に予測できない。しかし、分析的アプローチは、不確実性の存在と政治的かつ社会的な不都合を乗り越えるために、どのような協調的な政策決定が求められているか、について効果的に明示するのに有効である。後述するビジョン共有計画 (Shared Vision Planning: 以下 SVP と表示) はコンセンサス・ベースの解決を求める決定支援ツールとして技術的情報に基づく協調的なアプローチである。

② IFM を含む IRWM に対する技術的支援： IRWM はカリフォルニア州における水計画の基本であり、多角的な目的を持つアプローチで各地域における広範な便益を提供するための反応パッケージを組み合わせて適用される。これには、効率的な水利用、リサイクル、脱塩類化および貯水および水質、洪水原、流出と流域およびエコシステムの回復と保全に関する改善についての戦略を含む。水コミュニティはこれらの反応パッケージを用いて、地域の水ポートフォリオの計画、投資および多様化を促進することで地域が水自給を達成し、他の地域とのコンフリクトを最小限にとどめることができる。

6-2 IRWM による挑戦

IRWM は概念的な意味では共通した認識が確立されているが、定量的な分析の観点では必ずしも統合されているとは言えない。カリフォルニア州は、水質などの環境、社会的な平等および地表水と地下水の相互関係に関する総合的で有益な情報を得るために水管理に関する情報および分析ツールが必要である。現在、異なる地方機関の情報を比較することは困難で、特に地方の水管理問題、さらに州全体とのリンケージを理解することは一層困難な状況にある。

IRWM は地域に広範な便益をもたらす反応パッケージを適用する多目的なアプローチである。多目的な計画のための技術的分析は反応パッケージを実施するとき、経済的費用を最小化し、逆に経済的便益を最大化することを追求する。この分析は水管理システムに関する詳細でダイナミックな分析を必要とする。しかし、水管理担当者には、地下水の取水、地表水と地下水のダイナミックな関係、エコシステムによる便益とストレスの危害者および十分な水質に関する詳細な情報と分析ツールが欠如している。さらに、これらの要素を経済学的な価値評価で表すことは困難である。経済的および非経済的な便益や影響およびプロジェクト・ライフサイクル分析を含めた新たな分析ツールが開発されるべきである。以下の3つの事例は、IRWM が厳密で透明性の高い技術的分析による水管理情報を必要とすることを示している。

① IFM (総合洪水管理)： IFM は、水位が高いときの管理や未開発の洪水原の能力向上および洪水の影響を減少させるためのオープンスペースの確保および環境スチュワードシップを向上させる一方で、生命や財産に対するリスクを最小限にする多目的な戦略を統合する。洪水管理戦略分析は、日あるいは時間スケールで利用可能な水管理情報や分析ツールを必要とする。また、堤防建設の詳細、水路の能力、水路内の植生と構造への影響、既存および将来の土地利用に関する正確な情報を必要とする。

② エコシステムの修復： エコシステムの修復には河川の流れの変化、魚類や野生生物の生息地の回復、汚染廃水の河川、湖沼や貯水池への流入、鮭や虹鱒のような産卵する遡河性の魚類に対する障害の除去、なども含まれる。エコシステムの修復は回復した自然の景観や持続可能で現在および次世代におけるエコシステムの利用と便益のために生物多様性の質を改善する。研究者は、提案されたプロジェクトの影響やいかに魚種が流水や水温など異なる環境条件に反応するか、に関して科学的に不確実性が存在するためにしばしば修復プロジェクトの環境便益を定量的に推定しようとする。さらに、一般的にエコシステムとその健全性に関する限定的な経年的データのみを使用している点が指摘される。

③ 気候変動に対する適応： 気候変動の影響によりカリフォルニア州の水理条件は過去の世紀に観察されたパターンから変化してきている。カリフォルニア州における異なる地域がどのような気候変動の影響を受けるかについて多くの不確実性が存在する。予測によれば、変化の範囲やタイミングは不確実性であるにせよ、気温は上昇し、シエラ・ネバタ山脈の雪塊氷河が減少し、早期の雪解け、そして海面水位の上昇が指摘されている。これらの変化は、水供給、洪水管理およびエコシステムの健全性に大きな影響を与える。

研究者や技術者は、気候変動に適応するために、いかにカリフォルニア州の水供給システムや自然界のシステムが維持・管理されるべきか、について効率的に検証するための水管理情報や分析ツールの開発が求められる。例えば、水管理担当者は直面する挑戦に戦略的に対応するために、①長期的な修復のモニタリングと資源管理活動の強化、②学際的で総合的な科学的支援、③多様な気候モニタリングとモデル構築の促進、④観測可能で分析可能な方法の開発、⑤サブ・システムを含む総合的なモデルの開発と維持、などの基礎的な科学的分析ツールが必要である。

6-3 SVP によるアプローチ

DWR は CWP Update 2009 策定において SVP によるアプローチを適用する。SVP は技術的な分析に利害関係者が広く参加すべき必要性を強調する。SVP は計画策定および評価のための機能的なツールとして開発された政策決定支援モデルに適用される。この SVP モデルは透明性が高く、使用が簡単で水理シミュレーションを経済、環境および水供給システムに関連する他の計画と統合するように設計される。SVP による便益として、システムに関する理解とビジョンの共有、技術的かつ政策的に可能な代替策の提示および決定の実施に対する反対の緩和などがあげられる。

DWR は、州規模の分析ネットワーク（State Wide Analysis Network: 以下 SWAN と表示）と共同して SVP アプローチによる利害関係者と政策決定者とのかかわりを拡充することで、流域規模のモデル構築から技術分析のインフラ（方法とツール）確立に向けた広範な概念へと拡大できると考えている。現在のデータおよび分析ツールは政策決定者、水管理担当者および資源計画担当者からの重要な質問に応えるには不十分である。DWR は SWAN との共同作業により SVP を CWP Update 2009 策定に適用し、水管理情報および分析に関して長期的ビジョンを支援するため、表 - 5 に示す 5 つの技術的な行動を明らかにしている。

6-4 Water Update 2009 に適用された分析技術

CWP Update 2005 は州全体および地域の水状況を評価するための分析アプローチとしていくつか

表 5 DWR による水管理情報・分析を支援する行動

技術的な行動	行動の概略
① 水管理情報の改善	洪水や旱魃管理に対する水管理情報に対する戦略を提供する。
② 水管理情報の統合	3つの活動、すなわち①都市水管理計画、② IRWM 計画および③水管理情報に関する地域の統合、からなる。
③ 水管理システムに関する共通の概略図の開発	水質、エコシステム機能、洪水管理、気候変動および IRWM に関する情報や他のモデルとの統合を図解により共通の水管理として策定する。
④ 水管理システムに関する共通概念の理解の促進	水管理システムに関する異なる情報のリンケージと水管理システムに関するモデルの開発を行う。
⑤ モデル構築の原案と基準の確立	開発された異なるモデルをリンクし効率的に利用するためのモデルの定式化と基準化を行う。

の新たな概念を導入しており、これらは更新プロセスにおいて長期的な方向付けを定義するのに有効である。DWR は水計画諮問委員会と協調して、CWP Update 2009 における分析の中核的となる3つの定量的な考え方、すなわち①水ポートフォリオ、②将来シナリオ、③応答パッケージについての概要を示している。CWP 2005 では資源やスケジュール上の制約のために、これらの3つの定量的な考え方の全てを実施することができなかった。しかし、DWR はこれらを継続的に発展させることで総合的な分析方法へと進化させた。表-6 に示すように、CWP Update 2009 は CWP 2005 をベースとして、水ポートフォリオ策定に時間をかけ、将来シナリオを精査し、そして水管理応答パッケージに関する分析方法を構築している。

上述した技術的な行動に関する5つの提案は CWP Update 2009 において使用されるシナリオ分析に適用されている。その目標は、IRWM と水計画を統合して地域および州全体の水管理に関する決定と指導に関する一貫した情報を提供することにある。DWR は SWAN からのインプットをもとに、将来シナリオを定量化し、代替的な水管理応答を支援するツールとして水評価・計画システム (Water Evaluation and Planning System: 以下 WEAP と表示) を CWP Update 2009 における分析ツールとして適用した。その背景として DWR は、① CWP Update 2005 で使用された分析ツールを含めて、CWP Update 2009 に対する将来シナリオを定量化するいくつかの可能なアプローチについて評価し、②米国環境保護庁によって支援されている Stockholm Environmental Institute (SEI) とともに Sacramento Valley における気候変動の影響可能性を調べるために WEAP を適用する研究プロジェクトに参画し、その結果を受けて WEAP の適用を決定している。

WEAP は、水計画担当者および諮問委員会によって開発された定性的なシナリオを定量化し、気候変動を含む多くの重要な不確実性に直面したときの地域水管理応答パッケージを系統だって評価するのに有効である。WEAP は、DWR が CWP Update 2009 において追求する目標、①総合的なシナリオ分析のモデルの枠組みを開発する、②モデルの枠組みをカリフォルニア州における気候変動、土地利用および人口変化などを含めて、水計画が直面する一連の不確実性の評価に適用する、③評価プロセスとしての厳密性とリスクを含めて適切な計測に対する分析の結果を評価する、④最も確実な地域水管理応答パッケージを開発する、ことに対応する分析ツールである。

表-6 CWP Update 2009 における定量的な考え方

定量的な考え方	アプローチに関する概略
① 水ポートフォリオ	1998～2005年における年間および地域間の水需給バランスを記述する。
② 将来シナリオ	カリフォルニア州における将来の水供給および水利用に関する代替可能な状況について記述。シナリオは人口増加、土地利用および気候変動のような水担当者が管理しがたい主要な要素に対する異なる仮定によって区分される。
③ 応答パッケージ	管理目標に関して水管理システムの結果を改善するために設計された資源管理戦略。評価基準を用いて各将来シナリオのもとの代替的な応答パッケージに対する期待されるシステムの結果の分析を行う。

7. 結論：CWP Update 2009 の実施計画

CWP Update 2009 はカリフォルニア州が直面する最も逼迫した水管理問題とその挑戦を具体化した戦略的な指針である。第1章で述べたように、戦略的プランとして、①ビジョン、②ミッション、③目標、④指導原理、⑤目的および⑥関連する行動、を含んでいる。さらに、CWP Update 2009 は、これらの行動を達成するための制約や阻害要因の削減あるいは好機の活用などに必要な変革に対する9つの勧告を提案している。これらの勧告はカリフォルニア州における決定機関、すなわち州政府、実施および制度設定機関、DWR や州の関係機関に指示される。

戦略プランにおける目標と関連する行動は、DWR の気候変動白書および関連する州の計画から採用されている。Annex - 1 に示すように、CWP Update 2009 において対象となっている13の目的 (Objectives) は水計画の目標 (Goals) を達成するのに有効である。これらの13の目的に対応して100を超える関連する行動 (Related Actions) を提案し、将来の気候変動やその他の出来事による不確実性とリスクに対して多様性と弾力性をもって対応できる体制を整えている。CWP Update 2009 は2050年に向けた計画として、以下のような期待すべき結果を達成するために州、連邦および地方政府は協調して行動を起こすことを要請される。

- ① 州政府は、流域、水コミュニティおよび農業資源を保護し、かつ向上するための全ての「有益な水利用」に対して十分で、信頼でき、安全で、アクセス可能な、しかも持続可能で良好な水質の水供給を行う。
- ② 州政府は、リーダーシップと監督および公的資金の提供を通じて IRWM による水計画と管理を支援する。
- ③ 州の水資源計画、持続可能な水利用のための水管理および地域における水自給の拡大のために、州、連邦および地方政府の密接な連携と地域および地域間のパートナーシップの形成とその役割を認識する。
- ④ 水資源および土地利用担当者は、水供給の信頼性、効率的な水利用、水質の保全、洪水防止の改善、環境スチュワードシップの促進に関する総合的な行動のための協調的な決定と実施を行い、気候変動の影響や破局的な出来事を考慮して環境面の合法性を確立する。
- ⑤ 州政府は、気候変動によるリスクとその影響を削減し、水管理と洪水管理およびそれらに依存するエコシステムの持続可能性を高めるために適応戦略の開発や多様な行動に対して投資を行う。
- ⑥ IWM の一環として、IFM は洪水防御の増加、準備と緊急応答の改善、洪水原におけるエコシステム機能の向上および総合的な洪水管理システムの構築を進める。
- ⑦ 全ての水コミュニティにとって、水資源や水配分に関する決定による便益と結果および州政府の資源へのアクセスに対する平等と公平性を確立する。

CWP Update 2009 は、州、連邦、先住民族、地域および地方政府と関連機関に対して水戦略計画とその実施に関して、①水資源と水供給システムを保全、管理、開発および維持するため戦略的目標、対象および短期的・長期的な行動に関する勧告を行うこと、②水資源と水供給システム、環境、

財産、健康、州の人々の厚生・福祉を脅かす洪水、旱魃、破局的な出来事に対する応答計画を準備すること、③現在および将来の水状況を評価し、新たな好機に挑戦することを確認することが不可欠である。

最後に、CWP Update 2009 はカリフォルニア州における次の5カ年およびそれ以降における水管理と水供給システムの運営に関する基本的な水管理戦略を策定するもので、直面する気候変動の影響やシステム自体に内在する不確実性とリスクの問題に挑戦するなど新たな戦略が導入されている。しかし、一方では水供給システムの複雑さ、施設の老朽化、不確実性やリスクに対する脆弱さなどシステムの失敗（System Failure）の危険性も高い。そうして、カリフォルニア州における将来の水供給システム運用の成否は農産物を輸入する日本への影響も大きい。今後、CWP Update 2009 の最終的な完成に向けて、一般市民への公開による意見や疑問がどのように反映されるか引き続き注目する必要がある。

謝辞

本稿は、平成21年度科学研究費補助金研究「気候変動等による水資源制約が穀物輸出国の生産と日本の食糧安全保障に及ぼす影響分析」（課題番号：21405029）に関連して、著者が2009年8月に実施したカリフォルニア州水資源局（DWR）において研究課題に関して聞き取りと議論を行った際に入手した下記の引用文献1（Vol.1）と2を基に California Water Plan Update 2009 策定において新たに組み入れられる要素や関心のある事項について今後の研究資料として取りまとめたものである。最後に、著者の現地調査に協力を頂いたカリフォルニア州水資源局の関係者に感謝の意を表したい。

引用文献

1. DWR (2009), California Water Plan Update 2009, Public Review Draft, Vol.1
2. DWR (2009), California Water Plan Highlights, Public Review Draft
3. DWR (2009), California Water Plan Update 2009, Delegation from Toyo University, Aug. 25 2009 (聞き取り調査における DWR によるプレゼンテーションの資料)

Annex-1

CWP 戦略プランにおける 13 の目標と関連する行動

目標	戦略プラン	関連する行動
1	カリフォルニア州の水資源計画、持続可能な流域および洪水管理、地域の水自給の拡大にとって重要なパートナーシップの形成を構築するための IRWM の促進・改善・拡充	気候変動、旱魃、洪水に対応できる財政および技術的な支援による IRWM の計画と実践。2つの関連する行動
2	将来の水需要や気候変動に適応するために水の節約、リサイクル、再利用による水利用効率の向上	各関連機関が協力し 2020 年までに州全体で一人当たり 20%の水利用の削減による水自給の拡大。7つの関連する行動
3	将来の旱魃や気候変動に備えるために複数の水資源の共同水管理の拡大（例えば、地表水と地下水の複合的利用）	2011 年までに IRWM により地域の地下水貯水量、地表水の貯水バンクおよびその他の水供給資源を明確化。6つの関連する行動
4	人間および環境の健康と「有益な水利用」に対する水供給の安全を確保するために地表水および地下水の質の保全	既存および将来の「有益な水利用」の持続的な水供給の確保を図るために 2015 年までに年当たり 1,725 千 a.f. 増加させ、魚類と野生生物のための十分な「有益な水利用」を確保。6つの関連する行動
5	流域、洪水原、河川内の流れを改善して環境を保全し、また水および洪水管理システムを維持するために環境に関する責任の実践、促進、改善、拡充	信頼できる水供給と洪水防御は水資源管理のための主要な目標で基本的な行動として環境管理と持続可能性が必要。6つの関連する行動
6	緊急対応策、洪水防御、持続可能な洪水と水管理システム、および洪水原のエコシステム機能の向上を含む多面的な便益を供給するための IFM の促進と実践	IFM は洪水管理に関する総合的なアプローチで IWM のコンテキストの中で、流域規模で土地・水資源を捉え、洪水の便益を最大にし、生命、財産、エコシステムなどに対する被害を最小化。5つの関連する行動
7	デルタのエコシステムと信頼できる水供給の目標およびデルタをユニークで価値ある場所として認識することで、カリフォルニアデルタの持続的な管理の促進と実施	デルタのエコシステムは減少傾向。気候変動などの影響はデルタに依存する水供給、経済、食糧安全保障、人々の日常の生活に影響。①デルタのエコシステム保全、②州政府の水供給の信頼性確保、③デルタの価値の維持、④デルタのガバナンスの強化と資金供与、に関する 35 の関連する行動
8	洪水、旱魃および大災害に対して、その被害を減少させるための住民やコミュニティの決定を支援するための防止、応答および回復計画の準備	全てのコミュニティにおいて、2009 年に完成する洪水安全戦略計画を含めた洪水に対する事前準備、応答および回復計画を策定。4つの関連行動
9	GHG 排出を緩和するために水管理および污水处理システムにおける消費エネルギーの削減	水使用関連のエネルギー消費量削減のため、信頼できる水供給に伴うエネルギー需要量の削減、水配分・処理に伴う非再生電力の削減、およびこれらの活動を実施するための安定的な資金の供給。6つの関連する行動

10	IRWM および洪水管理と水資源管理システムを支援するモニタリング、データ管理および不確実性を考慮した政策決定の分析の改善および拡大	IRWM の計画および管理、IFM、デルタ管理の改善および気候変動による影響削減を促進するための技術的能力に対する投資。①水管理情報の改善、②水管理情報の統合、に関する10の関連する行動
11	水関連プログラムおよび水管理システムの実施を支援する新たな水関連技術に関する研究の明確化と資金供与	新たな水関連技術の開発と商業化およびカリフォルニア州の水関連システムに関する科学的な理解を支援する研究開発と優先度の付与。3つの関連する行動
12	持続可能な水および天然資源を維持するための水関連プログラムおよびプロジェクトに対する先住民との協議、協調および資金供与	民族対話委員会（TCC）は民族対話プランをCWP Update 2009のために策定。このプランは定義、目標、指導原則、実行計画などを含む。民族水問題は、水法律、計画、管理、水利権、人間の生命と健康、漁業管理、水配分などに関連。10の関連行動
13	公平で平等な便益の配分の達成のため州のプロセスおよびプログラムにおける条件不利地域の参加の増加、州政府のプログラムや政策による影響の緩和、これらのプログラムや政策が最も不利な条件にあるコミュニティの公共の健康に貢献	CWP Update 2009 策定にける条件不利なコミュニティや弱者および地方政府の水計画への参画および州の資金への平等なアクセスの確保。州政策における全ての民族に対する公平性、文化、収入の確保および健康や環境への悪影響の削減。5つの関連する行動
	13の戦略プラン	105の関連する行動

出典：DWR(2009), CWP Update 2009, Vol.1, Chapter 7: Implementation Plan, pp.7-3~29 を基に著者作成

California Water Plan Update 2009: Future Perspective and New Challenges
－ Could the water supply system encounter with future risks and uncertainty? －

Kenji YOSHINAGA

California is well-known not only as agricultural state with abundant ecological biodiversity but as a location of big cities such as San Francisco which draws particular attention to impacts on water resources and water supply system caused by modality of land uses as well as climate change in the future. The water supply system in California is complex composing of the network of water transfer from water source of snow pack in the north to dry area in the south. The system has been built in a long history consisting of dam, reservoir, canal, pump station and aqueduct, including groundwater treatment. This could benefit for beneficial uses of human activities and ecosystem with safe and reliable water supply.

The California Water Plan has been revised in every five years since 1957 to update to align the water supply system and management in changed social, economic and environmental situations. California has suffered from severe droughts in past three successive years since 2007, impacts by which caused serious shortage of water allocation for human and ecosystems. In ever changing context around water resources and supply, the Department of Water Resources (DWR) has been updating the CWP Update 2009 and currently publicized the public review draft for public comments and public awareness purposes for a completion of final version in the early 2010.

The CWP Update 2009 is consisted of five elements such as Vision and Mission, Goals, Guiding Principle, Objectives and Actions, and Recommendations toward 2050 with scenario analysis with particular consideration on the climate change and ecosystem restoration. To this end, it has underlined the Integrated Water Management (IWM) initiative together with umbrella strategies of Integrated Regional Water Management (IRWM) and Integrated Food Management (IFM). The CWP Update 2009 incorporates new but significant elements such as risk and uncertainty management by climate change, response packages for such risk and uncertainty, water supply for ecosystem in the Sacramento and San Joaquin River Delta Management including endangered fishes, and fair water access for human and their activities including tribal participation.

This paper summarizes the California Water Plan Update 2009 and its Highlights by DWR by focusing on new elements and challenges for better water system management for further research purposes.

Keywords: CWP Update 2009, DWR, IWM, IRWM, IFM, Ecosystem, Risk and Uncertainty, Climate Change