



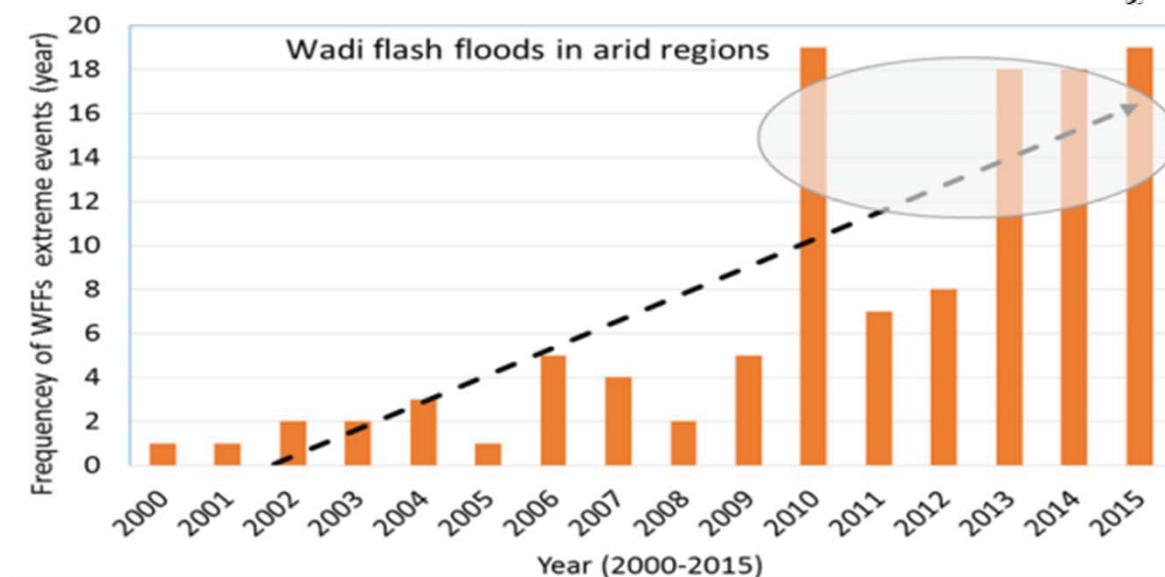
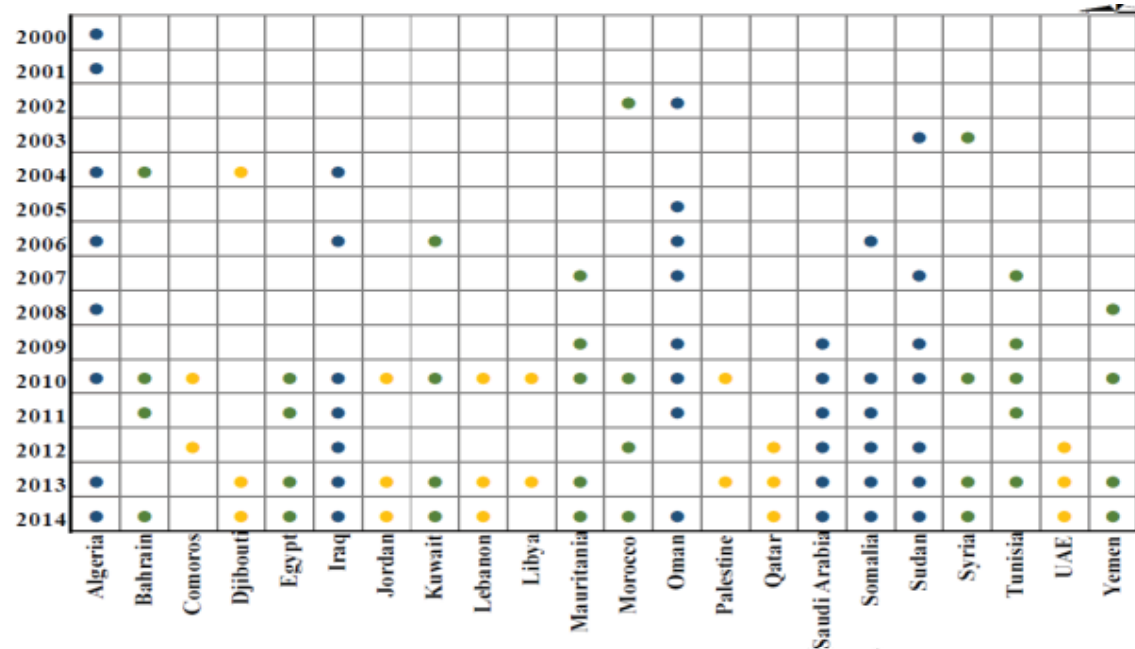
ワジ流域の持続可能な発展のための気候変動 を考慮したフラッシュフラッド統合管理



京都大学防災研究所 角 哲也

アラブ諸国でのフラッシュフラッド発生状況

- アラブ諸国では、フラッシュフラッドが毎年のように発生
- 特に、2010年以降は増加傾向



なぜ、乾燥地域で洪水被害が発生するのか？

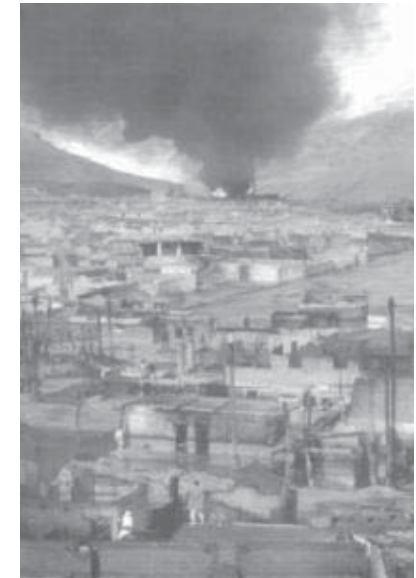
- ✓ 乾燥地域のワジ(涸れ川)は、平常時には表流水がない状態
- ✓ 総降雨量が10～15mm程度以上の降雨は、地下浸透せず、ほとんどが表面流出
- ✓ ワジの近傍には、地下水を利用する都市や農地が立地し、下流域では洪水被害が発生
- ✓ 人口増加による居住地域の拡大のために、下流域が新たに開発され、洪水リスクがさらに増大



サウジアラビアにおける被災事例

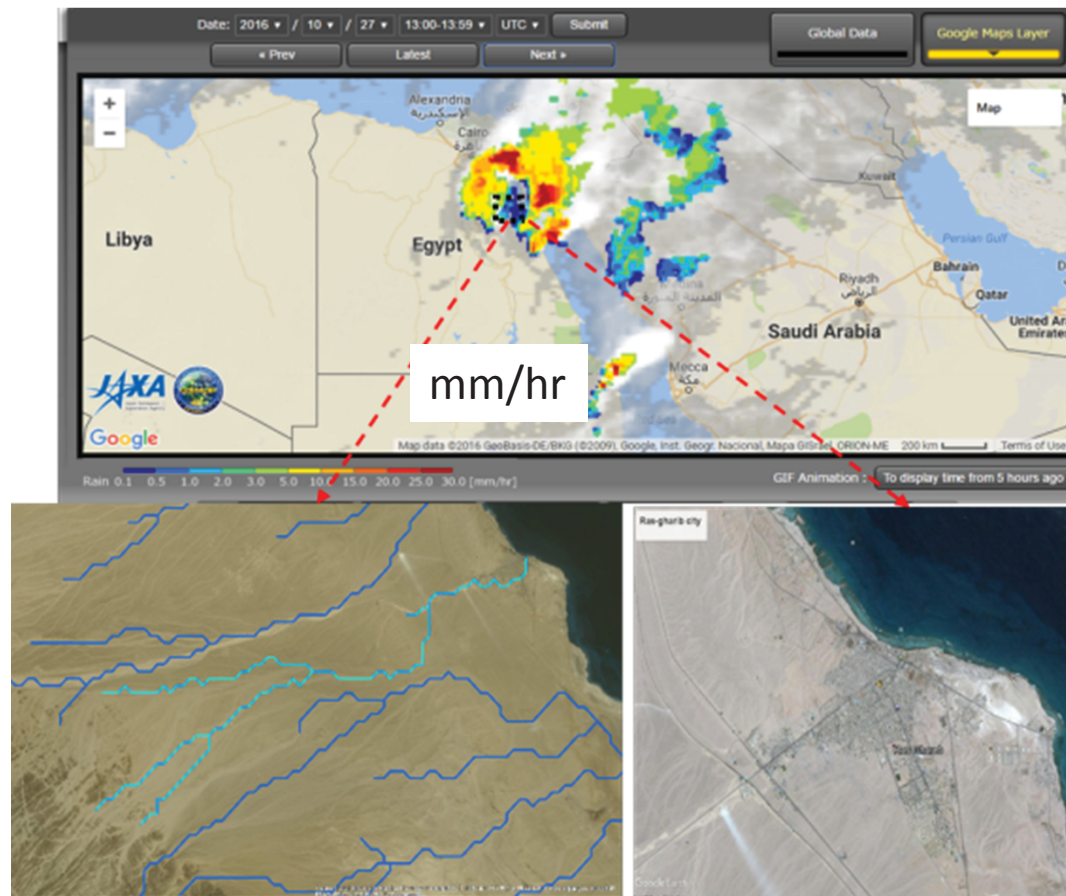
近年のエジプトにおけるFlash Flood災害

- **1994年**：アシュートのドランカ市で、約13,165エーカーの農地が被害、全住宅、学校、その他のインフラ施設が3227か所、一部が被害を受けた建物が約2827棟、500人以上が死亡し、影響を受けた人数は数千人
- **2010年2月**：少なくとも3,500人（500家族）が被災しホームレス化
- **2013年3月**：数千人が被災
- **2014（3月と5月）**：ワディ・アブ・シエ（Wadi Abu-Shieh）の政府によって建設されたダムが決壊。シナイ半島のタバ、ワディ・アブ・シエ、ソハグ、アスワン、ナイル川沿いの クムムンボなど被災
- **2015年5月**：ベヘイラ市の洪水の結果として25人が死亡。アレキサンドリアを襲った別の洪水で6人が死亡し、数千人が被災
- **2016年10月**：公式報告書によると少なくとも29人が死亡、73人が負傷、32,500人前後が被災、ソハグ、南シナイ、紅海などの被災地の経済損失が5千万EGP（3.1億円）。同額の緊急支援、さらに同額の5千万EGPの復興支援予算が大統領から指示



フラッシュフラッドで石油タンクが破壊(1994年)(NATECHの一例)

GSMaP satellite rainfall data showing the flash flood of Oct.27, 2016



The Second International Symposium on Flash Floods
in Wadi Systems
25 – 27 October 2016



第2回フラッシュフラッド国際会議中に実洪水発生！



エジプトのFF対策ダムの現状

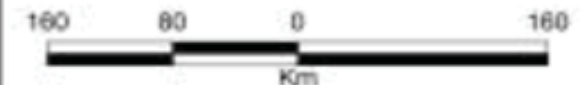


LEGEND

IMPLEMENTED WORKS

- LAKE
- ▲ DAM
- WIRE
- CULVERT
- BRIDGE
- DIKE
- TANK
- ARTIFICIAL CANAL
- BRIDGE

- 調査済
- 調査未
- 再調査必要
- ダム



エジプトとの研究・技術協力の経緯

国際会議

研修・招聘・調査

年月日	調査・検討内容
2010年10月	【第1回JE-HydroNetシンポジウム（京都大学）開催】 ・ ナイル川の水管理，フラッシュフラッド対策など包括的な研究アライアンス形成
2012年3月	【第2回JE-HydroNetシンポジウム（カイロドイツ大学）開催】 ・ ナイル川の水管理，フラッシュフラッド対策など包括的な課題について研究討議
2014年10月	【水文モデルに関する若手研修会（カイロNWRC）開催】 ・ Hydro-BEAM に関する操作演習（合計4日間，参加者30名）
2014年11月	【エジプトのワジへの台形CSGダム適用可能性調査】 ・ 日本・エジプト両国大ダム会議の技術交流協定締結 ・ ワジのフラッシュフラッド対策として台形CSGダムの適用可能性調査 ・ エジプト政府水資源灌漑省との協議、技術協力スキームに関する合意
2015年3月	【エジプト政府専門家の招聘及びWSの開催】 ・ 水資源灌漑省専門家 Dr.Gamal Kotb氏の招聘、CSG浜松海岸堤防視察 ・ Flash Floodに関するWS開催
2015年10月	【Flash Floodに関する第1回シンポジウム（1st ISFF）（京都大学）開催】 ・ 世界防災研究所連合（GADRI）の地域課題として位置づけ ・ 衛星降雨観測，降雨流出モデル，台形CSGダム適用可能性，リスク評価などを包括的に討議（11ヶ国約100名の参加）
2015年10月	【エジプト政府ダム技術者の受入れ】 ・ 水資源灌漑省のダム技術者 Dr. Salah Shehata 氏を受け入れ、 ・ 台形CSGダムに関する研修、施工現場視察(サンルダム、厚幌ダム)
2016年11月	【Flash Floodに関する第2回シンポジウム（2nd ISFF）（TU-Berlin, Egypt）開催】 ・ フラッシュフラッド対策に関する包括的な討議（14ヶ国約80名の参加）
2017年12月	【Flash Floodに関する第3回シンポジウム（3rd ISFF）（GU-Tech, Oman）開催予定】 ・ フラッシュフラッド対策に関する包括的な討議

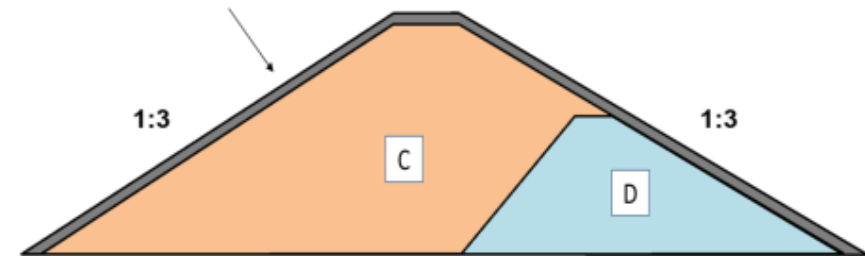


エジプトのフラッシュフラッド対策ダム現状

2014年10月
現地調査



鉄筋コンクリート、
蛇かごまたは粗石張り



- ・堤高は10m以下の小規模なものが大半、10m以上はごくわずか
- ・土堤の表面をじゃかご、練り石積または鉄筋コンクリートで被覆
→ 越流や浸食に対して脆弱、破堤が頻発
- ・洪水吐きや放流設備がない → 満砂すれば機能が消滅(持続可能ではない)

破堤ダムの調査

Wadi Abu-Shieh

① 基礎地盤：浸透破壊、越流による洗掘



② 堤体：堤体材料の吸出し、残留空気によるRCの浮上り



Key Questions for Wadi FF

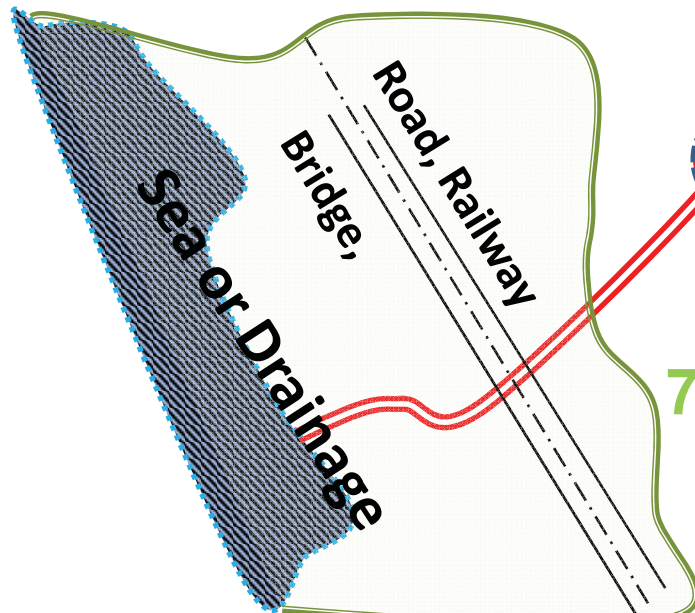
1- Rainfall

- ✚ Rainfall Intensity, Frequency, Duration?
- ✚ Rainfall Monitoring and Past Records
- ✚ Hydrological Modelling for Predication
- ✚ How much Volume, and How Fast?

2- Wadi Catchment

- ✚ Wadi Characteristics and Classifications

3- Groundwater



8- Climate Change

4- Sedimentation

5- Drainage Channel and Target point

6- Hazards, Social & Wadi Ecosystem

7- Land Use Planning

Industrial, Urban, Agricultural, Touristic, Energy, and Development Areas

Wadi Flash Floods Management Strategies

1- Structural Measures

- ✚ Dams (blockage, storage, retention, recharge)
Distributed or Concentrated?
- ✚ Embankments and Artificial Lakes
- ✚ Drainage Channels Improving and Cleaning

3- Water Harvesting

- ✚ Temporally water storage
- ✚ Groundwater Recharge
- ✚ Underground dams
- ✚ Agricultural development

Concentrated Dam

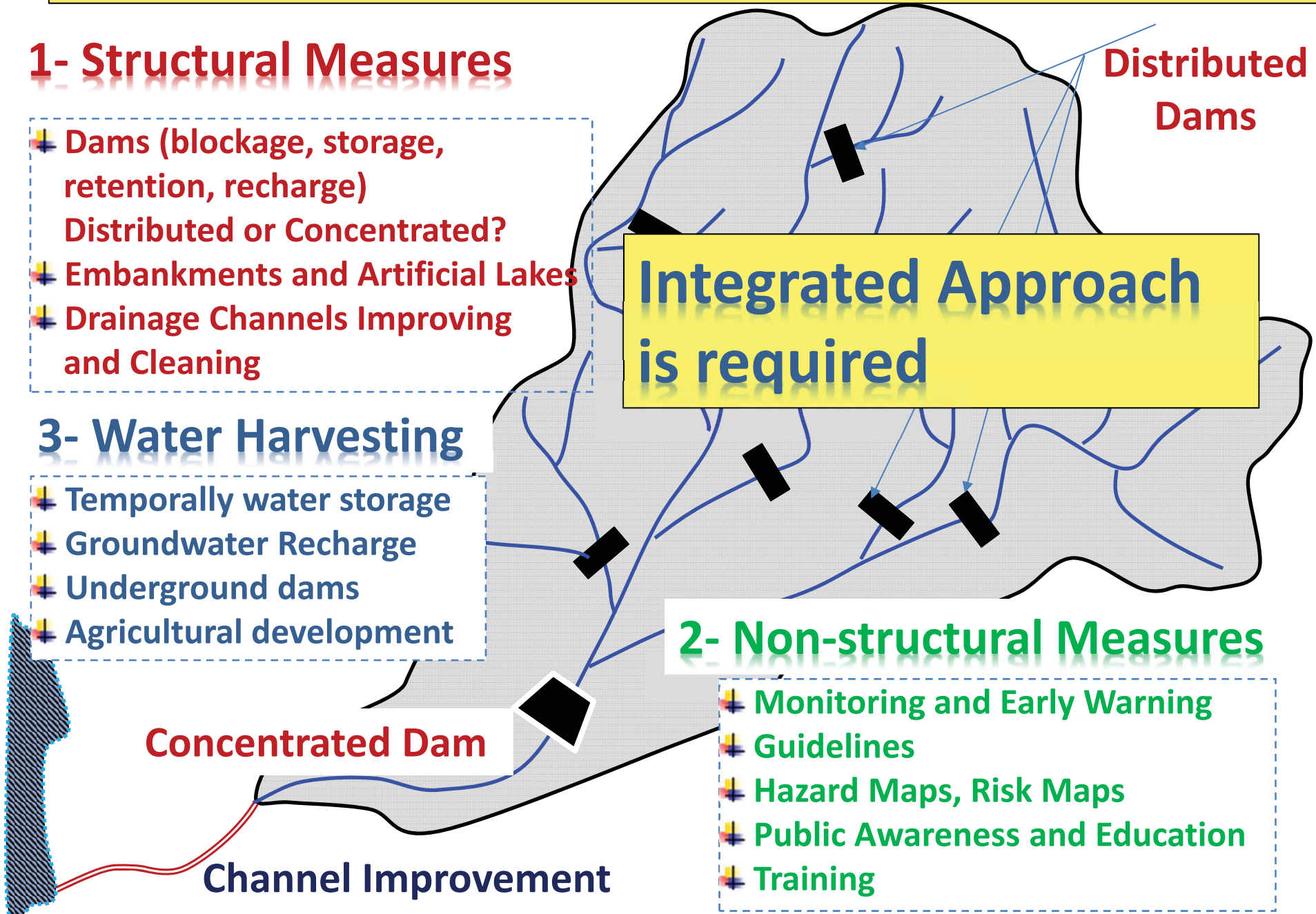
Channel Improvement

**Integrated Approach
is required**

**Distributed
Dams**

2- Non-structural Measures

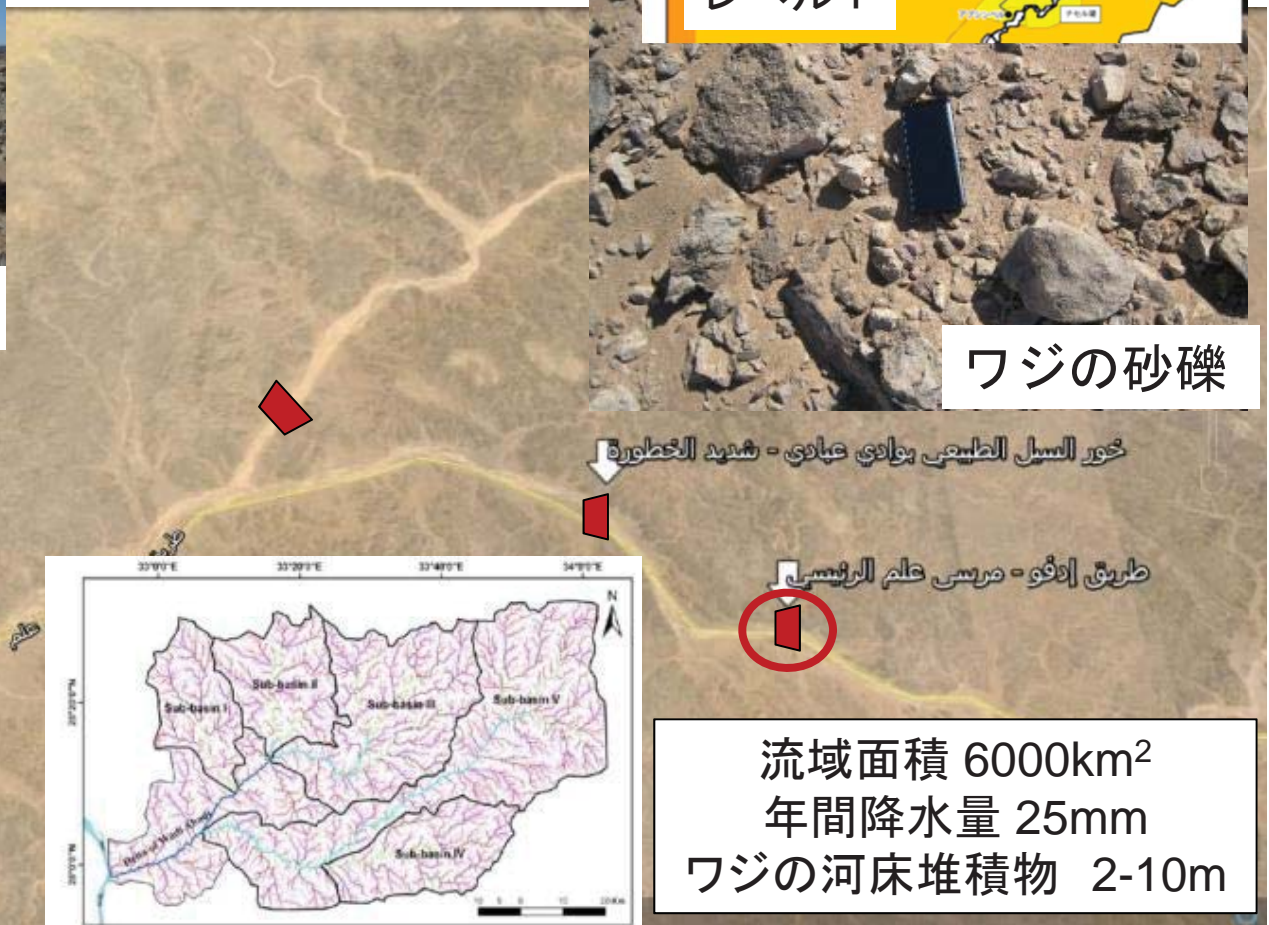
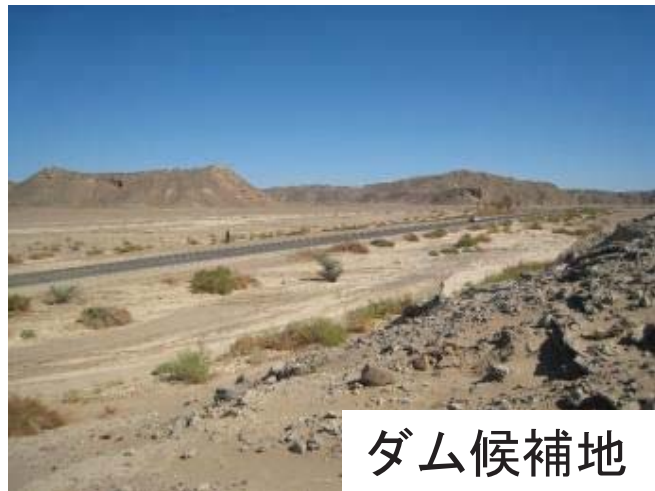
- ✚ Monitoring and Early Warning
- ✚ Guidelines
- ✚ Hazard Maps, Risk Maps
- ✚ Public Awareness and Education
- ✚ Training



ダム候補地の調査

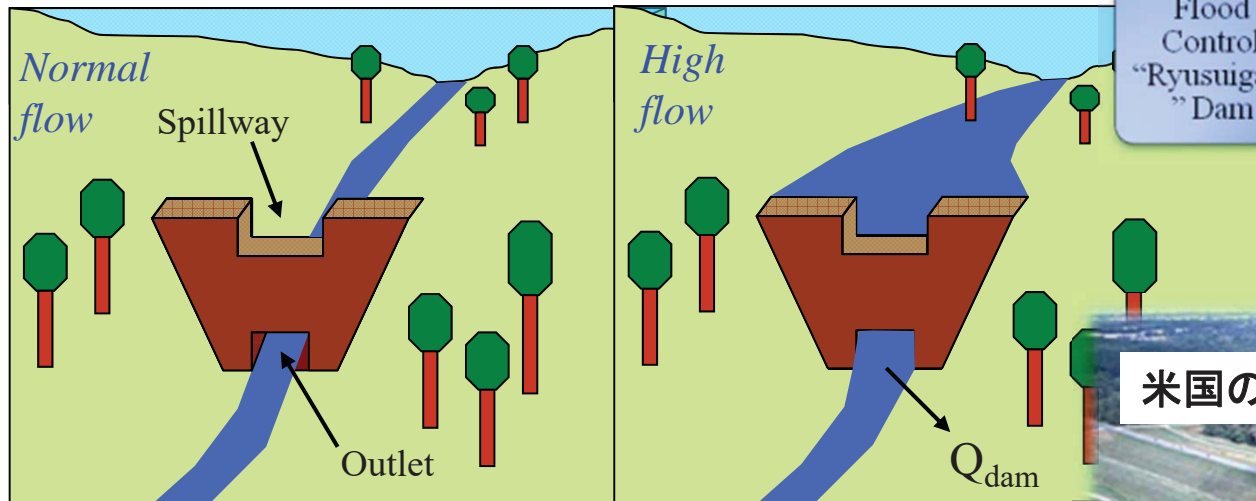
Wadi ELAbadi near Idfu

今後、7つのワジに
約20ダム建設予定

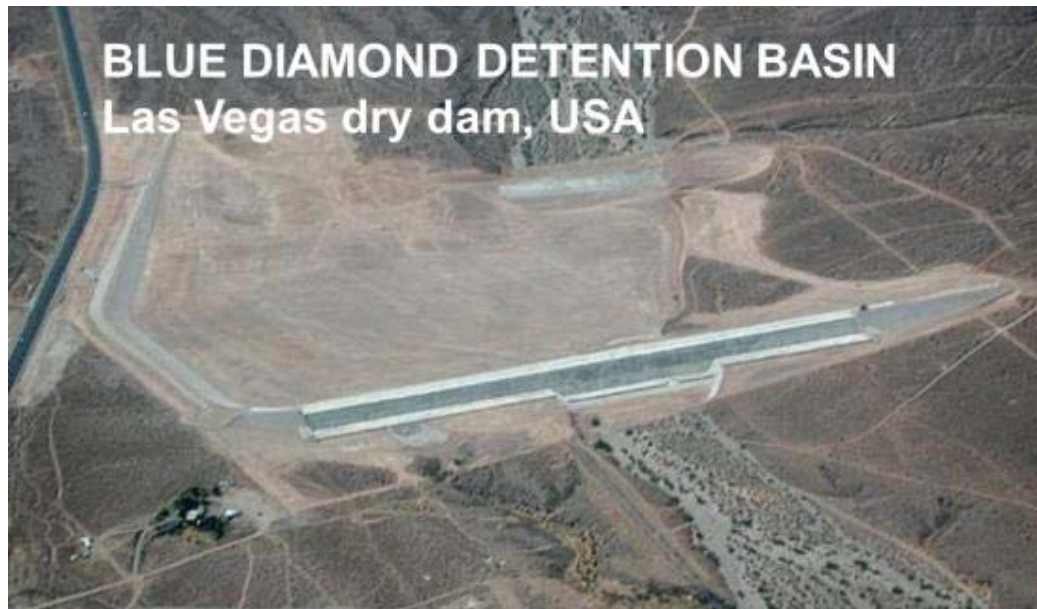


工事に必要な水は、ナイル川または周辺地下水利用で十分確保可能

洪水調節ダム (Flood Mitigation Dam)



米国の流水型ダム (Dry Dam)



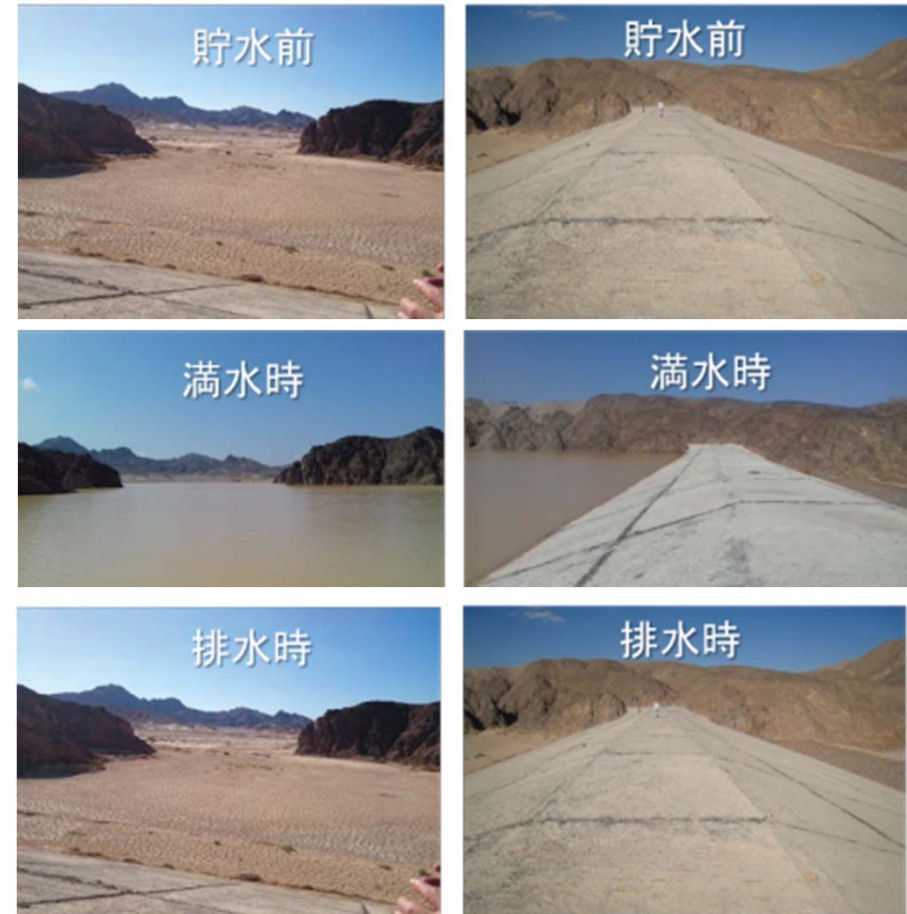
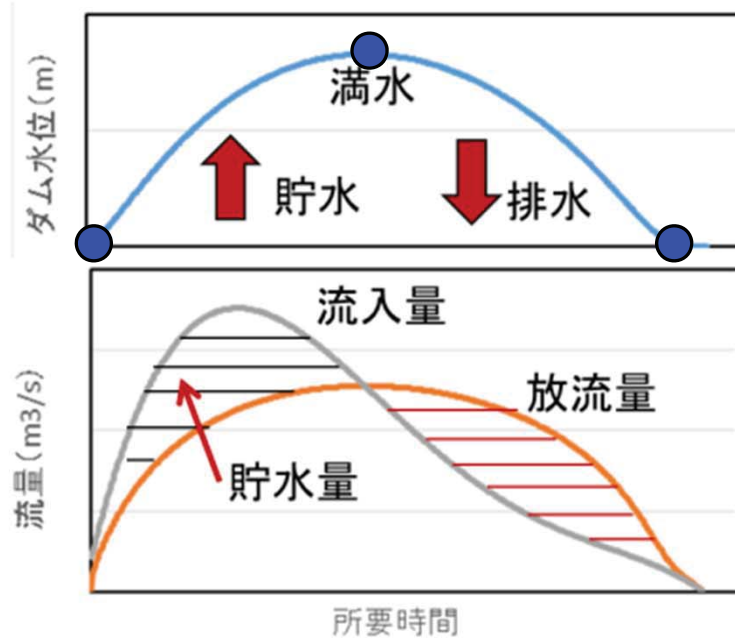
米国のワジの洪水対策の一例

益田川ダム (島根県)

流水型ダム

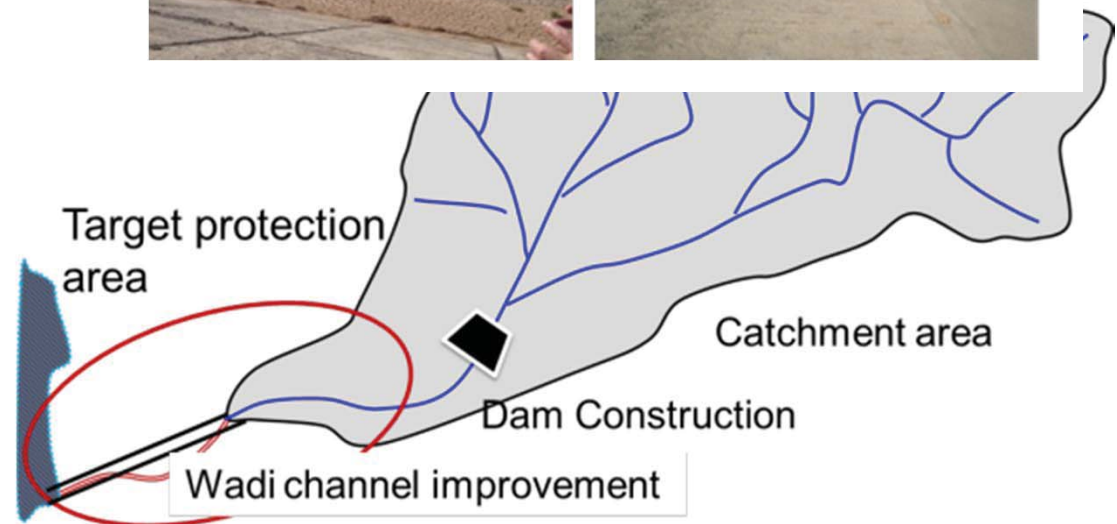


洪水調節のしくみ



検討のポイント

- 「ダム」と「河道(ここではワジ)」の役割分担の明確化
- 下流の河道(ワジ)の疎通能力の評価が重要(地形評価)
- 砂礫層からの地下浸透による地下水涵養を考慮し、効果的なダムの貯水容量および放流口規模を設計



技術移転の4つのステップ

i) ステップ1

NWRCでワジの河床材料を用いた材料試験・強度試験などの基礎的特性チェック

ii) ステップ2

対象ダム設計、現地における試験施工

iii) ステップ3

モデルダム施工（エジプト側実施）の指導を通じた技術移転

iv) ステップ4

設計・施工ガイドライン作成

- 対象地によって異なる現地材料の特性ごとに、安定した品質を確保するための材料混合・運搬・敷き均し・転圧の施工手順を確立
- 場所によらない基本的な考え方、および、場所ごとに固有なアレンジの考え方を取りまとめて設計・施工のガイドラインを作成
- これを用いて、エジプト国内外の技術者に対する研修を通じて水平展開



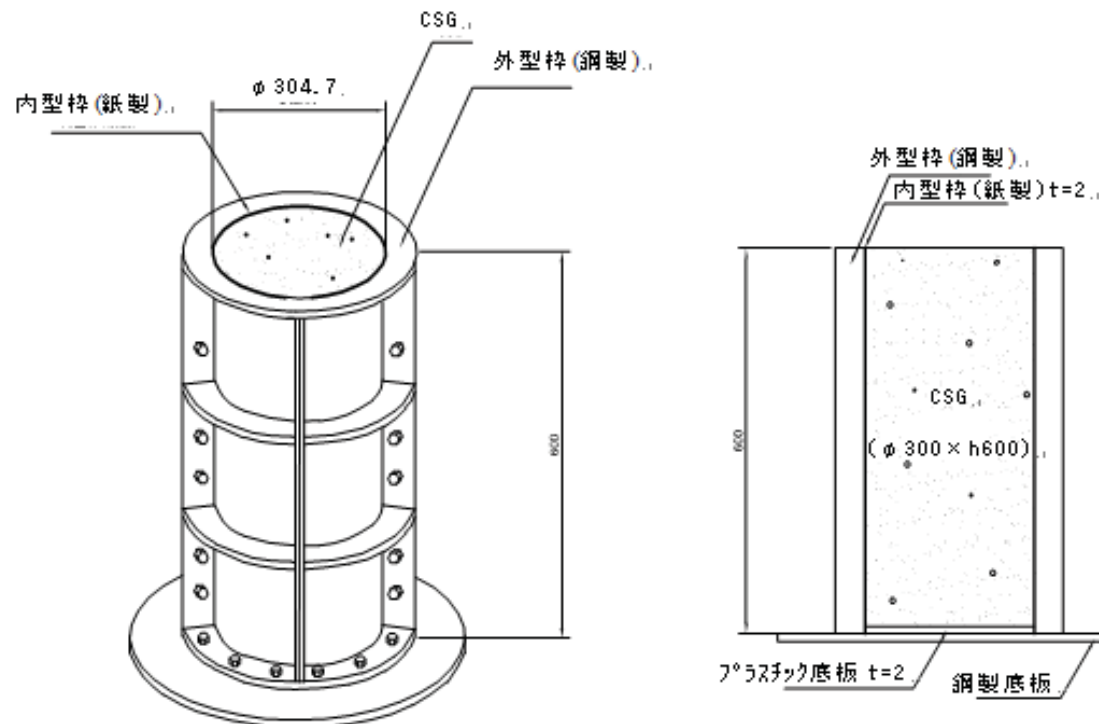
水資源灌漑省Moghazi大臣他
と協議(2014.11)

ステップ1

実験室において、コンクリートの**大型供試体**を複数作成し、応力-ひずみ関係の性能を確認し、安定的な品質を確保する材料の混合方策を確認

大型供試体試験

CSGは、径300mm・高さ600mmの円柱形の大型供試体によるフルサイズ(最大粒径80mm)の材料を用いた強度試験を行う。



大型供試体用型枠の概要 (単位: mm) ←



鋼製型枠

ステップ2

- エジプト政府は今後多数の洪水調節用のダムを建設する計画あり
- このうちの一つを台形CSGで建設することを想定して変更設計を実施
- 並行して、現地において少量の施工ボリューム（ダムではなく取り付け道路の擁壁など）での現地試験施工を開始し、OJTを実施
（エジプト国内：専門家による研修，日本：施工現場へ研修生受け入れ）

小型汎用機械を用いた施工方法の提案



CSG工法:

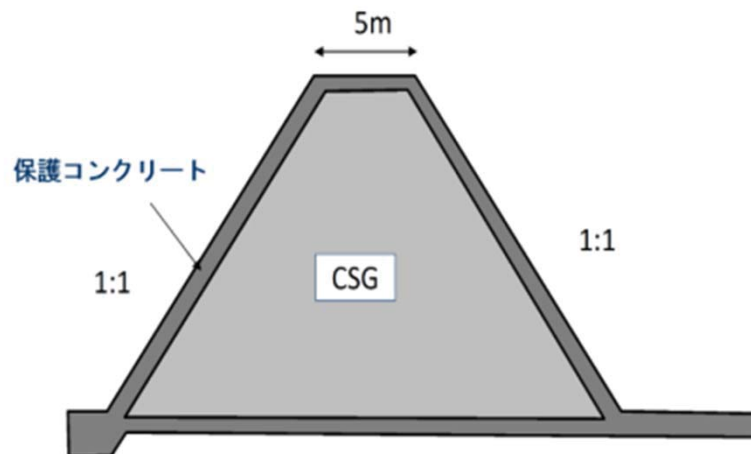
- 工事現場付近の河床砂礫や建設残土にあまり手を加えずに、セメント、水を混合し、小型の汎用施工機械で施工
- ダンプトラックで運搬、ブルドーザで撒き出し、振動ローラで転圧
- 通常の道路工事、堤防工事と同様の施工方法

→ 特殊な施工機械や高度な施工技術を必要としない

ステップ3

- ステップ2で獲得された施工手順を用いて、現地企業がエジプト政府との工事契約に基づいてモデルダムを施工
- 日本側専門家はこれに対して技術指導(短期専門家中心)
- 品質管理、施工管理の要点を技術移転

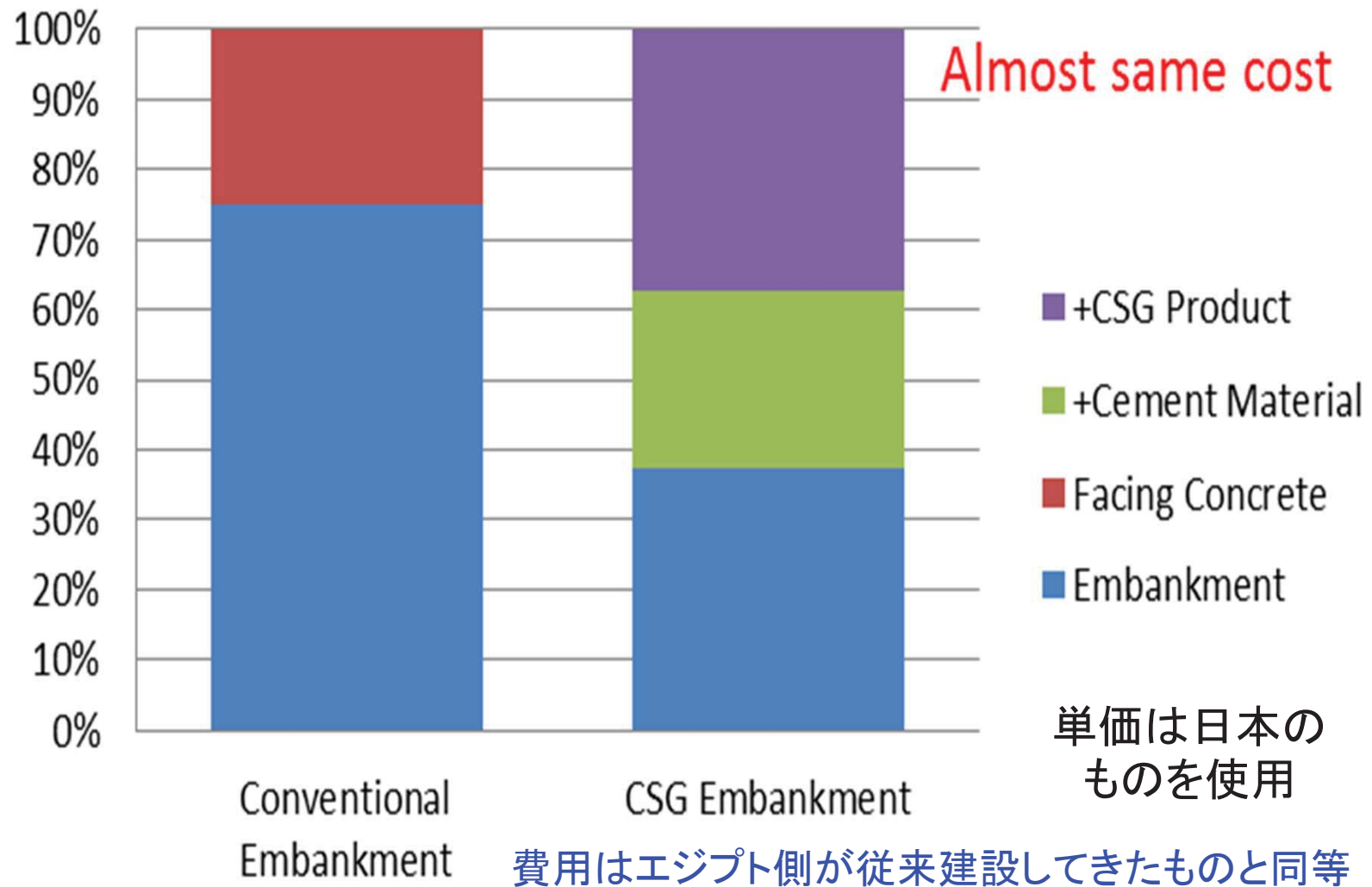
- ・堤高 5-10m以上
- ・天端幅 5m
- ・のり面勾配 1:1
- ・表面保護コンクリート
(耐久性が確保できる場合は Rich-Mix CSG)
- ・洪水吐等の放流設備を設置



台形CSGダムの特徴

- 台形ダム: 通常の三角形ダムに比べて必要強度が小さくてよい
- 台形CSGダム: CSG材料の長所を活かせる形状のダム
→ 汎用機械で一般的な施工法で築造可能
- 洪水が越流しても壊れない、堤体の侵食、材料の吸出しは起こりえない
- 堤体に洪水吐き、堤体中に放流管設置可能
→ 下流に無害な小規模洪水や洪水中の微細土砂を通過させることができる
(洪水全量を貯水するエジプト側の従来設計に対して土砂堆積を大幅に減少可能)

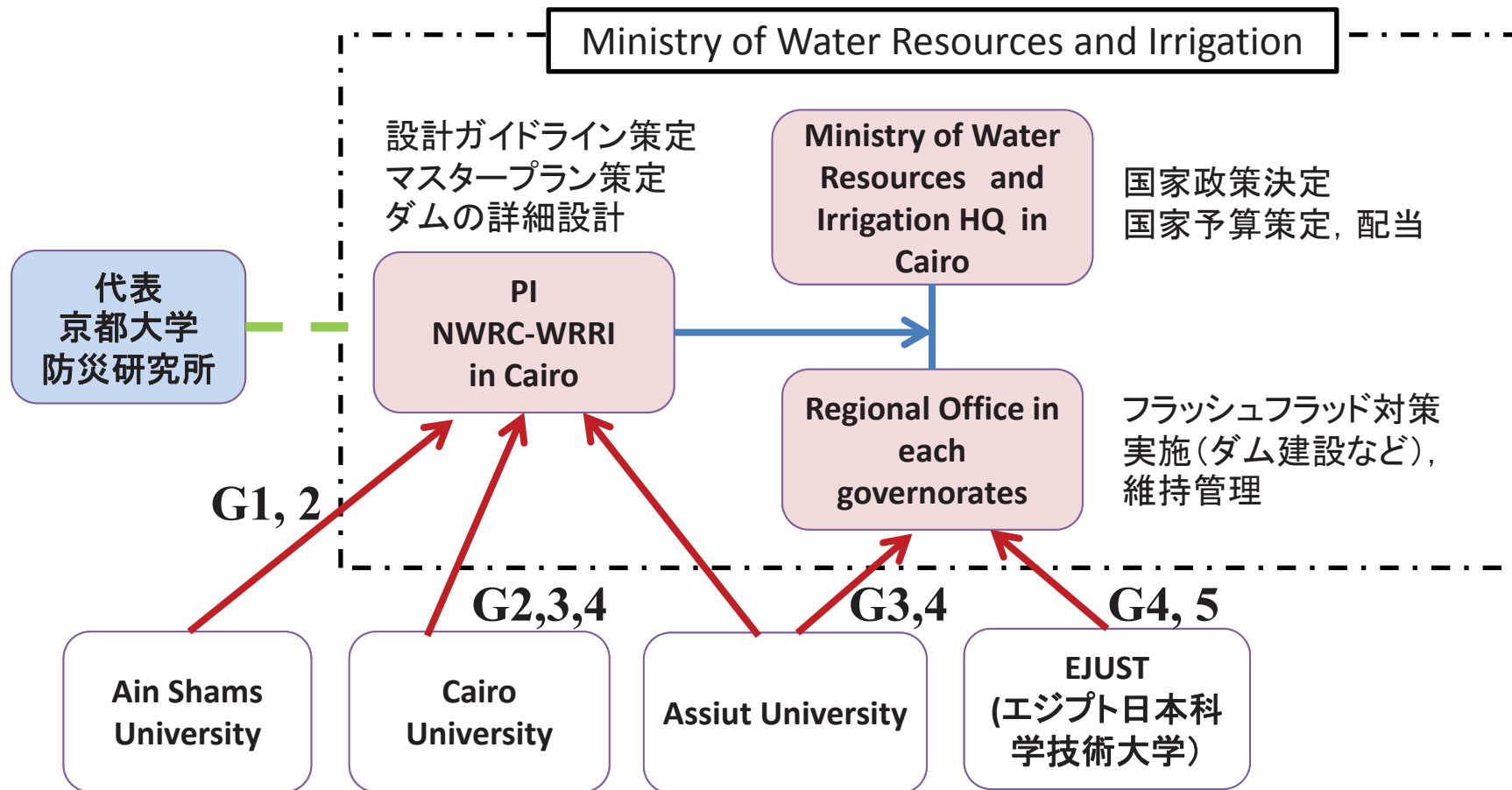
ダム建設費の比較(堤高10mの事例)



(参考) 高さ10m程度の鉄筋コンクリート張りのダム1基あたり日本円で2～3千万円程度

プロジェクトの実施体制

エジプト側の体制を中心に



G1(気候変動影響のシナリオ検討): 京大防災研, 愛媛大学

G2(フラッシュ洪水のモデル化と予測): 土木研究所 (ICHARM), 京大防災研

G3(洪水貯留施設による洪水緩和と水資源採取): ダム技術センター(JDEC), 京大防災研, 八千代Eng.

G4(土砂堆積と水資源涵養): 京大防災研, 土木研究所 (ICHARM)

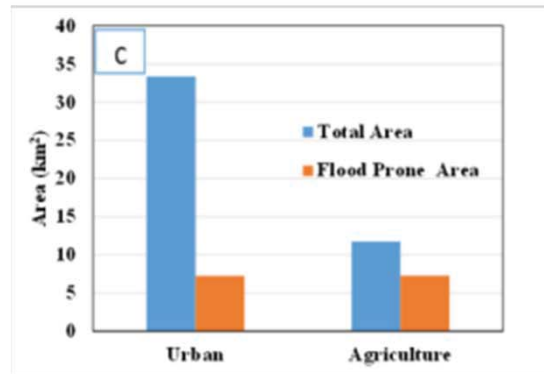
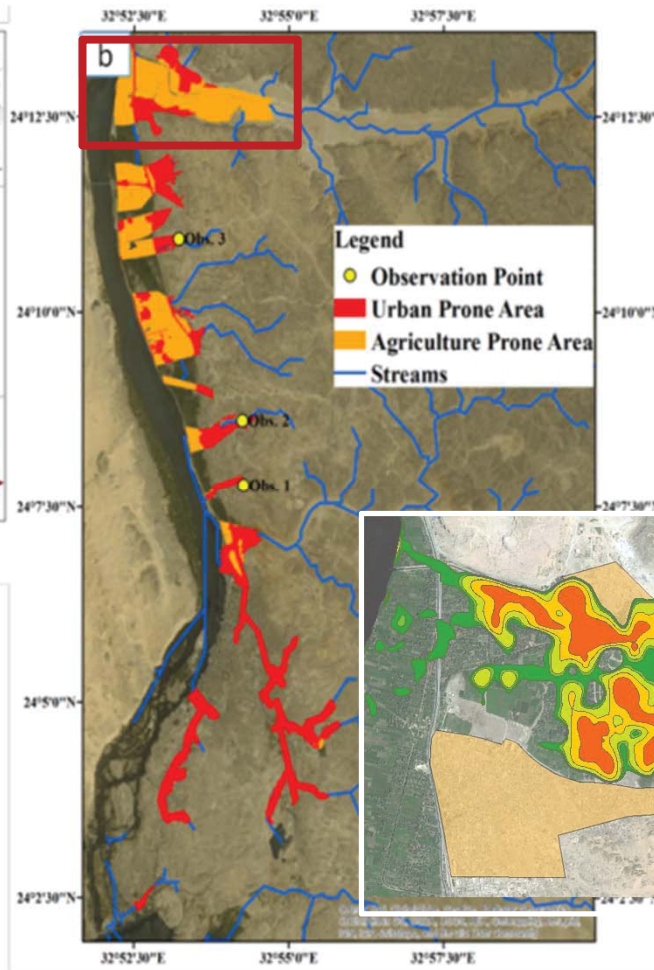
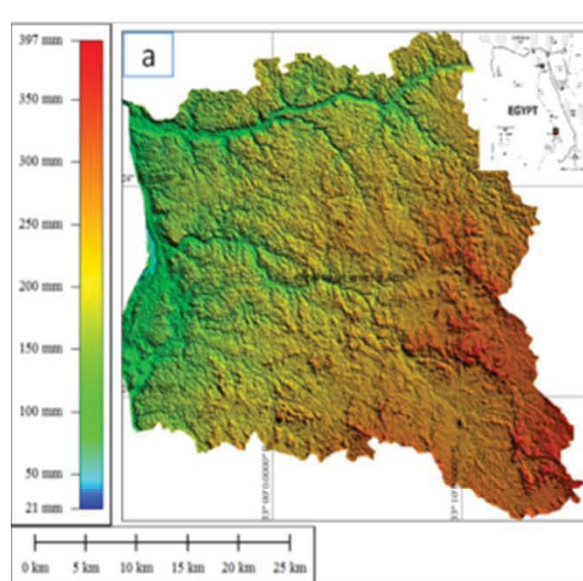
G5(確実な発展のための環境と社会経済): 京大防災研, 八千代Eng.

リスクコミュニケーション用のパンフレット



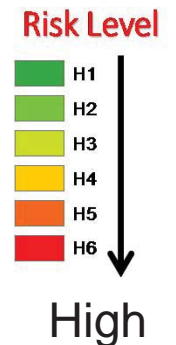
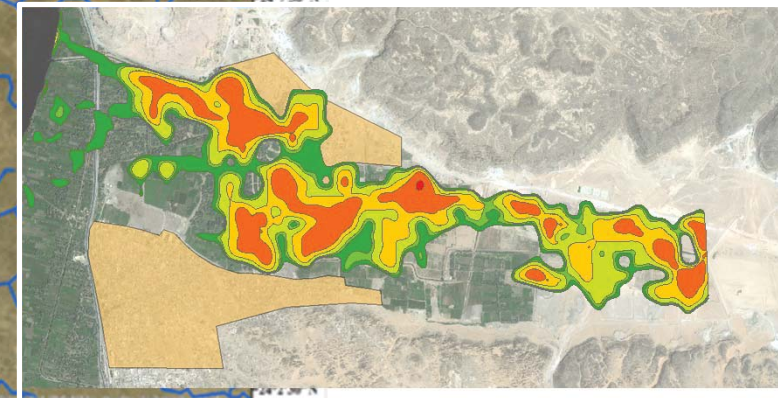
エジプトでは、UNESCOカイロ事務所（日本信託基金）のプロジェクトで、ワジの洪水対策に関する検討を実施（第2回ISFFで成果報告）

リスクマップ（アバディ谷下流域）



ナイル川沿いに住宅・商業地や農地。人口増加に伴って、近年、その範囲および資産価値が増大

主要なワジには高速道路や発電所などの重要なインフラが所在（アバディ谷には、Idfu-Marsa Alam間（ナイル川と紅海を連絡）の高速道路（約110km）が並走）



H1	No vulnerability constraints.	H4	Unsafe for all people and all vehicles
H2	Unsafe for small vehicles.	H5	Unsafe for all people and all vehicles. Buildings require special engineering design and construction.
H3	Unsafe for all vehicles, children and the elderly	H6	Unconditionally dangerous.

SDGsに対する貢献

- 目標 13. 気候変動に対する適応策

- フラッシュフラッドは、サウジアラビア、オマーンなどの同様な地域特性の共通課題
- 同地域における仙台防災枠組み2015-2030に対するフォローアップに位置づけられる



- 目標 6. 水の持続可能な利用・管理

- 人口増加国エジプトにとって、水の安定供給は国家的課題（ナイル川に唯一依存し毎年200億m³不足
- エチオピアのダム開発問題もあり、ナイル川を補完する水資源としてワジ洪水の水資源化（Water Harvesting）は有力手段

- 目標11. 安全かつ強靱な都市及び人間居住を実現

- コミュニティーレベルでワジ流域のリスクを理解した上で、安全かつ持続可能な開発を進める
- 世界文化遺産の保全にも貢献
（（例）ルクソール王家の谷）

道路, 発電所, 下水道などの
インフラ強靱化にも貢献



社会実装とイノベーションの視点

- 本プロジェクトでは以下の3つの社会実装(日本貢献)を実現
 - 1) 日本の洪水予測システムの海外展開(GSMaP利用含む)
 - 2) 日本発の台形CSGダムの海外展開
 - 3) アジア(インドネシア等)で培ったコミュニティ防災の応用
- 2回の国際シンポジウムを通じて各国からの高い関心を確認
- 世界防災研究所アライアンス(GADRI)の地域課題プロジェクト(Reginal Project)としても位置付け
- UNESCOカイロ事務所が日本政府の信託基金を得て実施してきたキャパシティビルディング事業ともすでに連携
- 第3回国際シンポジウム(3rd ISFF)を2017年12月6-8日に, GU-Tech やSultan Qaboos大学などと共同で、オマーンで開催予定
- 本プロジェクトの成果は、都市域への洪水対策としても極めて有効(サウジアラビアやオマーンは、都市のフラッシュフラッドが課題) → オマーンとは、別途共同研究を開始

学生研究の成果

エジプト

関連ニュースは

「王家の谷」豪雨で浸水の恐れ 京大防災研試算

毎日新聞 2017年2月20日 06時45分 (最終更新 2月20日 12時44分)

社会 > 話題 > 速報 >



100年に1回の豪雨で「王家の谷」が浸水する可能性のある範囲

ナイル川中流域で局地的な豪雨が降ると、古代エジプトの歴代ファラオ（王）を祭る墓地群「王家の谷」の多くの遺跡が浸水する。京都大防災研究所の研究グループがこんな試算をまとめた。既存の防水壁では防ぎ切れず、ツタンカーメン王の墓を含む多くの遺跡で、内部の壁画などが被害を受ける恐れがあるという。地球温暖化による異常気象で現地の雨量は増加傾向とされ、グループは防水壁のかさ上げなどの必要性を指摘している。

【写真特集】ツタンカーメンの黄金マスク 接着剤が雑に付いてたひげ修復