

## パナマ運河ガトゥン湖流域の水収支解析

日本大学工学部 学生会員 ○神戸 智志

日本大学工学部 正会員 朝岡 良浩

Technological University of Panama Lucas Calvo

## 1. はじめに

パナマ運河は1914年に開発された太平洋と大西洋を結ぶインフラで、パナマ共和国の経済収益の大部分を占めるだけでなく、世界の貿易においても重要を担う。運河の航路は80km、最高点の海拔26mとなっている。運河は水路の水位を段階式的に変化させる閘門式運河が適用された。運河の用水はガトゥン湖から供給され、またガトゥン湖はパナマ市への生活用水、灌漑用水、水力発電にも利用されている。近年、パナマ運河において水不足が多発している。通常パナマの乾季は1月から4月の4ヶ月にわたるが、2019年は5ヶ月にわたって降雨が観測されず、1914年の運河の開通以来、乾期の降雨が最小を記録した。運河の利用制限に伴い通行料による収入が数百万ドル減少した。一方で、2010年12月の降雨イベントでは、1972年以降に記録された24時間雨量の最大値の2倍に相当する雨量が記録され、極値解析による再現期間(リターンペリオド)は2000年以上と報告されている<sup>1)</sup>。

気候変動の適応策として、気候モデルの予測データを用いて渇水及び洪水頻度を評価するために流出モデルが必要である。本研究はパナマ運河流域ガトゥン湖における流出モデル構築に向けて2001年から2010年を対象期間とし、数値地図情報と衛星データを用いてパナマ運河流域ガトゥン湖の流出率を算出し、流出特性を把握した。

## 2. 研究対象地域

本研究はガトゥン湖流域(図-1)を対象とする。気候は亜熱帯気候であり、乾期は1~4月、雨期は5~12月である。運河流域の流域面積は3319km<sup>2</sup>である。流域内のガトゥン湖(425km<sup>2</sup>)にはRio Chagres, Rio Gatun, Rio Cir Grande, Quebrade Lobrascitaが流入しており、その他複数の河川を堰き止めて建設された人造ダム湖である。ガトゥン湖の上流部のアラフエラ湖(50.2km<sup>2</sup>)も人造ダム湖であり、パナマ運河の用水に利用されている。運河流域の土地利用は2001年から2010年の10年間であまり変動がなく、土地利用の大半が疎林と密林で占めている。

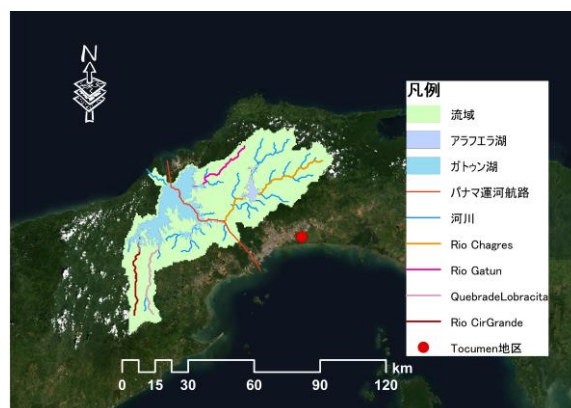


図-1 パナマ運河流域

## 3. 研究手法

流出率を算定し水循環特性を解析した。流出率は(1)式より算定した。

$$\text{流出率(\%)} = \frac{\text{流量}}{\text{降雨量} \times \text{流域面積}} \times 100 \quad (1)$$

対象地域の流域界と河川をHydroSHEDSから抽出した。空間分解能は15秒である。流量はLucas(2018)のデータを用いた。降雨量はJAXAが公開している衛星全球降水マップ(Global Satellite Mapping of Precipitation, GSMaP)を使用した。GSMaPは衛星に搭載されているレーダー雨量計のデータである。空間分解能は0.1度、時間分解能は1時間である。本研究はパナマ共和国の電力会社であるETESAが公開しているTocumen地区の2011年降雨量(2166mm)とGSMaPにおけるTocumen地区の2011年降雨量(1726mm)から算出した補正係数1.26を用いてGSMaPの雨量データを補正した。

キーワード GSMaP, 流出率, 基底流出, 気候変動

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定中河原 1 日本大学工学部土木工学科 TEL 024-956-8732

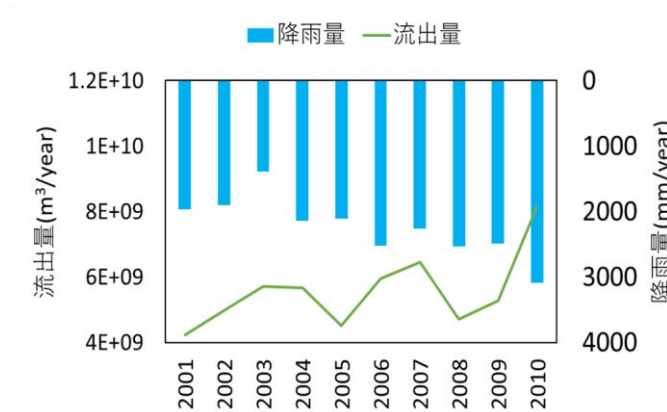


図-2 年単位の降雨量と流出量

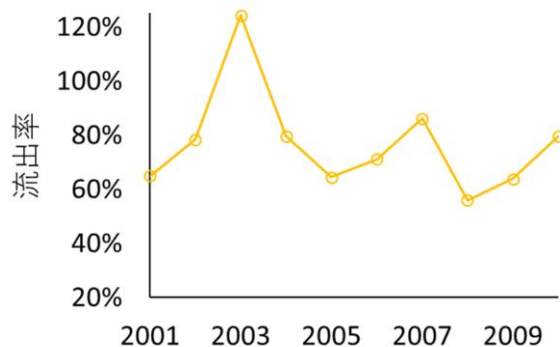


図-3 年単位の流出率

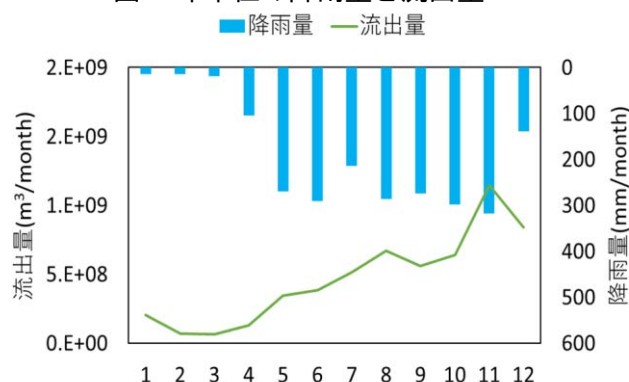


図-4 月平均の降雨量と流出量

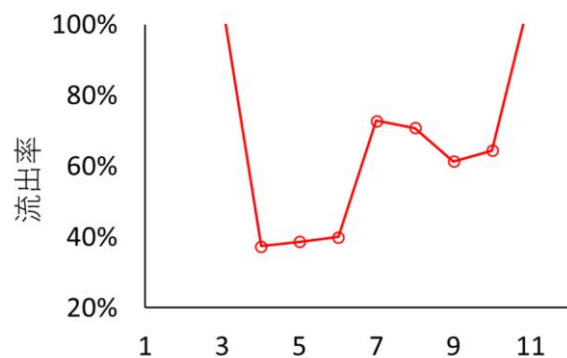


図-5 月平均の流出率

#### 4. 結果および考察

図-2 に年単位の降雨量と流出量，図-3 に年単位の流出率を示す．年降雨量の最大は2010年の3092mm，最小は2003年の1388mm，平均は2116mmであり，流出量の最大は2010年の $8.2 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，最小は2001年の $4.2 \times 10^9 \text{ m}^3$ であった．年間流出率の最大は2003年の124%，最小は2008年の62%，10年間の平均流出率は77%であり，2003年のみ流出率が100%を越えた．100%を超えた理由は流出量に対して降雨量が少なく，流速の小さい地下水流出の寄与が大きいと考えられる．図-4 に月平均の降雨量と流出量，図-5 に月平均の流出率を示す．月降雨量の最大値は11月の318mm，最小値は1月の14mmであり，同様に標準偏差の最大値は11月の152mm，最小値は3月の12mmであった．月流出量の最大値は11月の $1.1 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，最小値は3月の $6.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ ，同様に標準偏差の最大値は12月の $8.57 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，最小値は3月の $3.07 \times 10^7 \text{ m}^3$ であった．雨期の降雨量・流出量ともに年変動が大きい．月平均の流出率は1月から3月，12月は流出率が100%を越え，最小は4月の37%である．乾期は地下水流出の成分が大きいいため，雨期に降った雨が乾期の始めに影響すると考えられる．

#### 5. まとめ

本研究は数値地図情報をおよび人工衛星データを用いてパナマ運河流域における流出率を算出して，流出特性を考察した．対象地域の流出特性として乾期には地下水流出の寄与が大きく，流出モデル構築に向け地下水流出を考慮する必要性が示唆された．

#### 参考文献

- 1) Eylon Shamir, Konstantine P. Georgakakos, Michael J. Murphy Jr (2013): Frequency analysis of the 7-8 December 2010 extreme precipitation in the Panama Canal watershed, Journal of Hydrology, 480, pp.136-148.
- 2) Lucas Calvo (2018): Application of HEC-ResSim® in the study of new water sources in the Panama Canal, Journal of Applied Water Engineering and Research, Vol.6, pp.236-250.