

# 都市流域内人口密度を用いた都市における水ストレス度の算定手法の開発

## - イスラエルにおける事例解析 -

香川大学大学院工学研究科 北村友叡 香川大学工学部 石塚正秀

香川大学工学部 紀伊雅敦, 公財) 地球環境産業技術研究機構 林礼美

土木研究所水災害リスクマネジメント国際センター 津田守正, 名城大学理工学部 中村一樹

### 1. はじめに

現在、世界全体の人口は増加傾向にある。人が生活する上で水は必要不可欠なものであるが、水資源の分布は地域的な偏りが大きく、地球温暖化が進むと、この偏りはより大きくなるといわれている。また、人口が増加するにつれて、利用される水量も増加するが、国レベルでの水ストレス度では、水ストレスの上昇が人口の増減に影響しているとはいえないことが示された。そこで、本研究では、都市に着目し、都市における水ストレス度の算定を目的とする。

### 2. 研究の手法

#### (1) 都市流域内人口密度の定義

本研究では、都市流域内人口密度  $\rho_{u,r}$  を以下のように定義する。

$$\rho_{u,r} = \frac{P_u}{A_r} \quad (1)$$

ここで、 $P_u$  は河川流域に接続する都市人口、 $A_r$  は対象とする都市が抱える河川流域（後背流域）の流域面積である。

#### (2) 水ストレス度の算出方法

国毎の全球水ストレス度として、*PWA* (per capita annual water availability) を用いる。これは、ある国・地域において1人当たり1年間に利用可能な水資源量の多寡によって水不足の程度を表現する指標である(式(2))。

$$PWA = \frac{W}{P} \quad (2)$$

ここで、年間水資源量（水資源賦存量）を  $W$ 、人口を  $P$  とする。*PWA* が小さいほど、より高い水ストレス度を示すことになる。

### 3. 都市毎の水ストレス度の算定（イスラエル）

#### (1) 都市流域の算出結果

対象とした4都市に流入する河川を抽出した結果、エルサレム以外の3都市で4つの河川を確認できた(図-1)。それぞれ、ハイファを流れる Kishon River、テルアビブを流れる Yarkon River・Ayalon River、ベエルシェバを流れる Nahal Beelshaba (ワジ川) を表していることが分かった。都市流域面積はそれぞれハイファが 925 km<sup>2</sup>、テルアビブが 1694 km<sup>2</sup>、ベエルシェバが 1134 km<sup>2</sup> であった。

都市域に流入する河川を対象とすることで、複数の河川を統合して表現することや、都市域よりも上流側の流域を算定できた。

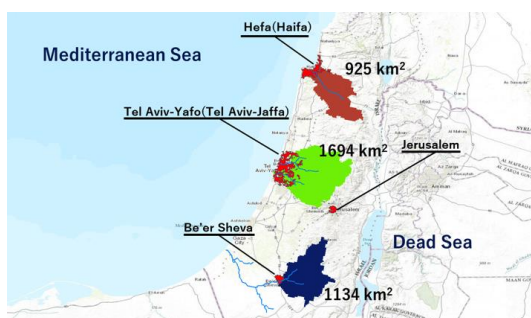


図-1 イスラエルにおける4都市の都市流域図（都市域は赤色で示されている。）

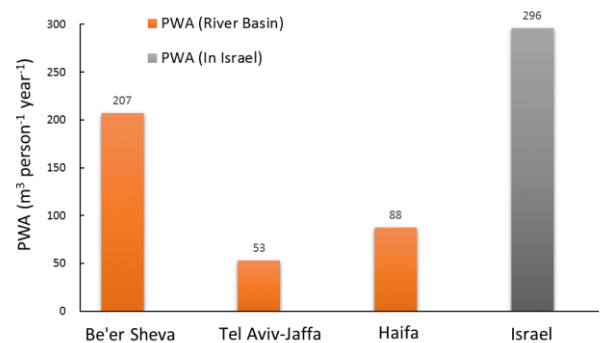


図-2 3都市における*PWA*算定結果（2000年）

式(1)で示した  $A_r$  は、ある都市に流入する河川流域面積であり、単純な流域面積ではない。例えば、ベエルシェバのように、河川中流域に位置する都市では、都市がある位置よりも上流域における流域面積を算定する必要がある。本手法を用いることで、流域の途中に位置する都市においても、そこに流入する河川流域面積を算定することができる。

#### (2) 都市における水ストレス度

*PWA* は式(2)より算定されるが、都市が利用できる水資源賦存量  $W$  を流域面積  $A_r$ 、降水量  $R$  および蒸発散量  $E$  を用いて表すと、*PWA* は次式(3)により計算される。

$$PWA = \frac{W}{P} = \frac{(R-E)A_r}{P_u} \quad (3)$$

つぎに、本研究で定義した都市流域内人口密度  $\rho_{u,r}$  (式(1))を用いると、上式はつぎのようになる。

$$PWA = \frac{(R-E)}{\rho_{u,r}} \quad (4)$$

式(4)を用いて、各都市における *PWA* を算定した結果を図-2に示す。比較のために、イスラエル国の *PWA* も合わせて示す。図より、都市における *PWA* は国全体で算出した *PWA* と比較して、小さい値となった。具体的には、ベエルシェバ、テルアビブ、ハイファの *PWA* は国全体に対して、それぞれ 70、18、30% となった。*PWA* が小さいほど水ストレス度が大きくなることから、水ストレス度を都市毎に算出することにより、国単位で算出した結果と比べて水使用に対するストレスがより高まることが明らかとなった。

### 4. まとめ

人口増加の影響を受けて、世界各地で水ストレス度は高まっている。本研究では、都市に着目し、都市における水ストレス度の算定を目的とした。その際、都市において利用できる水はその都市が抱える河川流域からもたらされると考え、「都市流域内人口密度」という新たな指標を定義し、都市の水ストレス度を算定した。

イスラエルを対象とした場合、国単位で水ストレス度を算出した結果と比べて、都市単位では水ストレスが約 1.4~5.6 倍に高まることが明らかとなった。

#### 謝辞：

本研究は JSPS 科研費 (15H02869) の助成を受けた。