

農業用排水路による地下水環境への影響評価
～インドネシア・中央カリマンタン州の熱帯泥炭湿地林域を対象として～

京都大学大学院・工学研究科 学生会員 ○神田 亜希子

愛知工業大学・工学部 正会員 城戸 由能

京都大学・防災研究所 正会員 中北 英一

東北大学・工学研究科 正会員 峠 嘉哉

1. はじめに

1980年代、インドネシア・カリマンタン島では農業生産拡大と開拓民移住を目的としたメガライズプロジェクトが実施され、熱帯泥炭湿地の排水や灌漑のため人工排水路が造成された。排水された泥炭湿地では表層土壌の乾燥化と地下水位の低下が進行し、森林火災拡大や土壌分解によるCO₂の大量排出が地球規模の問題となっている。そのため、CO₂排出量の測定や森林管理方策の検討のため我が国をはじめ複数の研究機関が現地調査研究を進めている¹⁾。本研究では、排水路改修による地下水位回復効果を定量的に評価することを最終目標として、まず平面二次元飽和帯水層の地下水流動モデルを作成した。現状再現性を評価した上で排水路造成以前の地下水位を推定し、排水路造成前後の地下水位および水収支の変動評価を行った。

2. 対象領域

インドネシア・中央カリマンタン州を流れるカハヤン川とセバングウ川を含む南北55km、東西46kmを解析対象領域とした(Fig. 1)。二つの河川の間にはドーム状の泥炭湿地林が存在し、メガライズプロジェクトにより二つの河川を結ぶカランパンガン水路と二つの河川に平行なタルナ水路、およびそれらに流入する中小の排水路が造成された。排水路造成により周辺土壌水分が排水され、地下水位が低下することで耕作管理に適した圃場が整備される予定であったが、現実には計画的な農地管理および農業従事者の移民・定住は進まず野放図な焼畑耕作が継続された。これらの排水路付近で森林火災が頻繁に発生するようになったため、排水路造成がCO₂排出量増加の主な要因と考えられている。

3. 解析手法

(1)使用モデル：連続式とDarcy則を基礎式として、飽和帯水層を対象とした平面二次元の地下水流動モデルを用いた。基礎式を以下に示す。

$$\lambda \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ k(h-s) \frac{\partial h}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ k(h-s) \frac{\partial h}{\partial y} \right\} + \varepsilon \quad (1)$$

ここで、 λ ：有効間隙率、 h ：地下水位[m]、 k ：透水係数[m/s]、 s ：帯水層基盤標高[m]、 ε ：涵養量および揚水量[m/s]、 x, y ：空間座標、 t ：時間とする。この式で示される涵養量のうち、地表面浸透はHortonの浸透能式に基づいて降水涵養量を決定し、また河川メッシュ上では河川と地下水間の鉛直浸透量を考慮している。空間解像度は100m、時間解像度は1hrで解析を行った。

(2)地表および基盤標高：SRTM衛星地形データ(1km解像度)から対象領域の100mメッシュの地表標高データを内挿補間して作成した。また基盤標高は計算領域一様に-15mとしている。

(3)降水量：対象領域近傍の2001～2010年に観測された日降水量データを利用し、陸面過程モデルSiBUCによる対象領域での樹冠遮断量の試算に基づき、日降水量の84%を地表到達降水量とした。

(4)河道および排水路：河川水位はカハヤン川とセバングウ川の2009～2011年の観測値を利用し、カランパンガン水路水位は両河川との分岐点における平均水位、タルナ水路水深はカランパンガン水路との分岐点における水深と等しいと仮定した。

(5)地下水流動に関するパラメータ：文献や各種調査に基づき数値範囲を設定した感度解析を実施した結果、透水係数 5.0×10^{-4} [m/s]、最終浸透能20 [mm/h]、有効間隙率0.5とし、対象領域に一様に与えた。

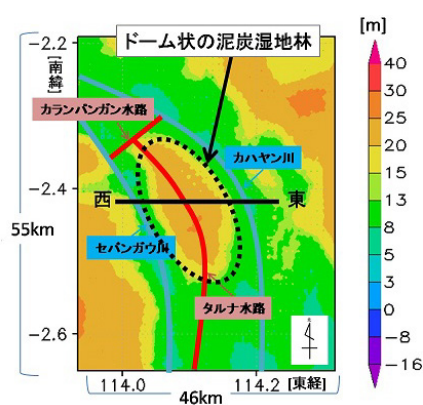


Fig.1 対象領域における地表標高

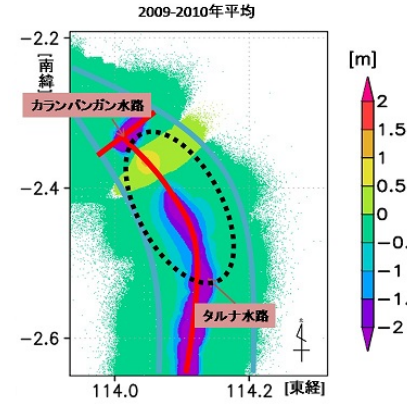


Fig.2 水路造成前後の水位差

4. 地下流動解析結果と考察

感度解析により決定したパラメータを用いて、2009～2010 年における排水路造成後の再現計算を行った。衛星画像を参考に水路の位置を設定し、カランパンガン水路水位とタルナ水路水深は3-(4)の条件で地下水流動計算を行ったところ、水路周辺の大部分において水位低下するという結果となった(Fig.2)。Fig.1 に示すドーム状の泥炭湿地林上の東西断面を示した図が Fig.3 であり、水路造成後の方が水路造成前に比べ、水路周辺 5.4～

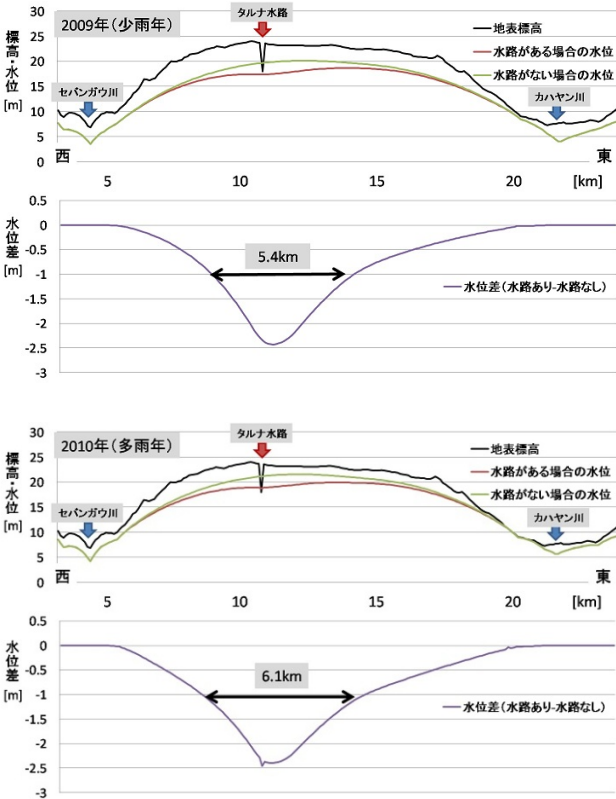


Fig.3 Fig.1 に示す東西断面における地表標高・水路造成前後の水位

Table.1 地下水位流動モデルによる水収支解析結果(*は陸面陸面過程モデル SiBUC により算出)

2009-2010年平均		
	水路造成前	水路造成後
降水量	3670 (100%)	3670 (100%)
樹冠遮断量	588 (16%)*	588 (16%)*
蒸発散量		
表面流出量	2404 (66%)	2295 (63%)
基底流出量	479 (13%)	606 (17%)
浸透量	678 (18%)	787 (21%)
地下残存量	199 (5.4%)	181 (4.9%)

[mm/y]

6.1km の範囲に渡り 1m 以上低下するという結果となった。また対象領域における水路造成前後の水収支を比較すると(Table.1), 排水路造成後は地下水が排水路を通じて流出しやすくなり、地下残存量が降水量全体の 5.4%から 4.9%に減少することを確認した。

今後は森林火災が起こっている範囲などから地下水位低下範囲を推測し妥当性を調べ、さらに水路幅縮小・水門併設による地下水位回復の定量的評価を行っていく。また、より再現性を高めるために流域全体で降水や地下水の流れを考察する必要がある。河川水位や水路水位に関しても、連続した観測値を入手し、それを元に4つの河川・水位を連結させた水路網での水位計算とその検証をすることが重要である。さらに将来の気候変動との関係性を調べるため、乾燥化による森林火災や土壌分解による二酸化炭素放出量評価、気候変動で降水量が増加・雨季が延長した場合の地下水への影響評価をしていきたいと考えている。

謝辞：対象領域内の河川水位データについては、北海道大学農学研究院・大崎満教授、高橋英紀教授から提供を受けたことを記して謝意を表します。また本研究は研究大学強化促進事業 SPIRITS「カリマンタン島熱帯泥炭湿地林の回復と炭酸ガスの排出削減に関する研究」の支援を受けた。

参考文献：

1)地球規模課題対応国際科学技術協力「インドネシアの泥炭・森林における火災と炭素管理」終了報告書 (代表・大崎 満, 北海道大学), 2014.