

河川流路の変化が湿原植生へ及ぼす影響の研究

Study of Influences of Change of River Channel on Mire Vegetation

室蘭工業大学 ○学生員 羽石 嵩 (Takashi Haneishi)

室蘭工業大学 正員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)

1. はじめに

湿原はかつて暗く不毛な土地と言われていたが、昨今では多様で貴重な動植物の遺伝資源を確保する場、洪水調節、水資源確保や水質浄化、気候緩和、レクリエーション、環境教育の場といった多角的機能をもつことが認識されつつある。その中でも、釧路湿原は1980年に日本国内第一号の登録湿地としてラムサール条約に登録され、1987年には国内28番目の国立公園に指定されるなど重要な湿地として世界的にも価値が認められている。しかし、社会経済活動の拡大の影響により湿原全体に大きな変化が現れてきた。近年の釧路湿原ではハンノキ林の急激な拡大が確認されており、湿原の乾燥化、富栄養化といった環境の急変が懸念される。現在釧路湿原では自然再生・保全に向けた取り組みが行われており、その一つとしてハンノキ林の増大の原因を科学的に理解し、それに基づいた対策が必要との認識が示されている。

本研究では、釧路湿原北東に位置する久著呂川流域を解析対象とし、流路変更による地下水位の変動と植生変化との関係を把握することを目的とする。

1.1 久著呂川流域概要

久著呂川は鶴居丘陵を流下し、釧路湿原に北側から流入する。流域面積148.0km²、幹川流路延長60.2kmの河川である。

久著呂川流域では1966年～1980年に、直轄明渠排水事業による排水路整備が進み、久著呂川流路も整備された。これにより、蛇行していた河川を直線化し、下流への排水を促進した。図-1には、本研究の解析対象である久著呂川流域を示している。この図の河川合流点より約6km上流に下久著呂水位・流量観測所がある。

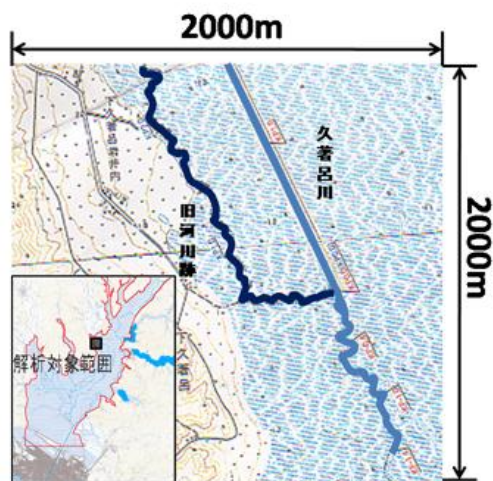


図-1 解析対象範囲

2. ハンノキ林の増加

ハンノキとは高さ20mに達する落葉広葉樹であり、他の樹木より水位の高い湿潤で肥沃な土壌を好み、河川流路・湖畔などの水湿地に群生する。

釧路湿原では1977年から1996年にかけてハンノキ林が29.4km²から71.3km²に増加したと推定されている¹⁾。これは、約20年間に釧路湿原全域に占める割合が6.9%から16.8%に増加したことを意味する。現在でもハンノキの増加は続いており、2004年には81.4km²に拡大したと推定される。図-2には、77年～96年にかけてのハンノキ林の変遷を示すが、湿原に流入する河川の流入部及び湿原南部でのハンノキ林の増加が著しいことがわかる。

このハンノキ林の拡大には地下水位の低下、変動の増大が関わっているとされている²⁾。そこで久著呂川の流路変化により地下水にどのような変化をもたらしたのか分析するため地下水シミュレーションをおこなった。

3. 地下水計算手法

解析対象範囲は、久著呂川と旧川の合流部を中心とした2km四方の久著呂川流域とし、2003年を解析対象期間として月単位で地下水シミュレーションをおこなう。また、解析メッシュは、流域の複雑な微地形を考慮し、地下水変動をより詳細に把握するため、25m×25mの半分の三角形メッシュとした。解析対象範囲を6,050個の節点と11,792個のメッシュ（要素）に分割し、境界条件および基本パラメータの設定をおこなった。

3.1 計算手順

最初に工藤ら³⁾がおこなった釧路湿原全域を対象とした250mメッシュ地下水シミュレーションに3.2節で後述する久著呂川の河川水位を水頭依存境界として追加し計算を行う。

次に、図-3に示すように湿原全体の地下水位の計算結果を境界条件（水頭依存境界）として久著呂川流域をより細かい25mメッシュデータで計算をおこなうという

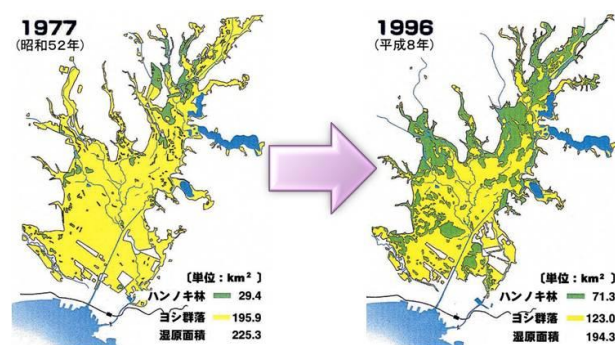


図-2 ハンノキ林の変遷¹⁾

ネスティング手法を適用した。これによって現在の久著呂川のケースと旧川を流れるケースの2通りの地下水シミュレーションをおこない、河川流路変更に伴う地下水の変化を調査する。

3.2 境界条件の設定

境界条件は水頭依存境界として以下の通りに設定した。境界条件設定のイメージを図-3に示す。

- 1) 河川水位：下久著呂観測所で得られた流量をもとにおこなった不等流計算の結果を適用する。
- 2) 計算領域の周囲：250m メッシュの計算結果を適用する。
- 3) 湧水地点：標高の勾配急変点において湧水があるものとしてその地点の地盤高を水位に設定した。

3.3 基本パラメータの設定

地下水シミュレーションに与える基本パラメータの内、標高については2m メッシュ標高データ(H16 年度実施・空中三角測量データ、釧路開発建設部より提供)を使用し25m メッシュ標高データを作成した。解析対象範囲の標高コンター図を図-4、図-5に示す。

その他の基底標高・貯留係数・初期地下水位・透水係数・有効雨量のパラメータの設定は、工藤ら³⁾の研究で

使用された250m メッシュデータをKriging 法を用いて補間し、25m メッシュデータを作成した。

3.4 モデルとガラーキン法による計算手法

地下水シミュレーションは、湿原内の地下水を不圧地下水として扱い、次式に示す2次元非定常モデルを適用しておこなう。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial h}{\partial y} \right) + q_0 = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

ここで、 h は地下水位(m)、 T は帯水層の透水量係数(m^2/s)で透水係数 $k(\text{m/s})$ に帯水層厚さ(m)を乗じたもの、 S は貯留係数、 q_0 は涵養量または揚水量(m/s)である。

上式を有限要素法(FEM)によって数値的に解くため、ガラーキン法を適用する。ここで、計算ルーチンはキンツェルバッハ⁴⁾が記したものを参考とした。FEMでは解析対象空間を多角形要素(本例では三角形)に離散化し、要素内の変数を空間座標に応じて重みづけ内挿するような関数 φ を考える。この関数との線形結合により次のように近似解 $\hat{h}$ を与える。

$$\hat{h} = \sum_{i=1}^N h_i \omega_i \quad \text{ここで} \quad \omega_i = \sum_{e=1}^M \varphi_i^e \quad (2)$$

ここで、 i は節点を表す添え字、 N は節点数、 e は要素を表す。添え字 M は要素数、 ω_i は基底関数と称する。これを式(1)に代入すると、次式を得る。

$$\varepsilon = \frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial \hat{h}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial \hat{h}}{\partial y} \right) + q_0 - S \frac{\partial \hat{h}}{\partial t} \quad (3)$$

ガラーキン法では上記 ε を最小にする方法として、次式が要求される。

$$\int_{\Omega} \varepsilon \omega_i dx dy = 0 \quad (4)$$

ここで、上式は x, y 平面上の境界 Γ をもつ領域 Ω での残差 ε と基底関数 ω の積を積分したものを0とした場合、 h の最適解が得られるというものである。この積分の結果、次式を得る。

$$\sum_{j=1}^N P_{ij} h_j + \sum_{j=1}^N R_{ij} \frac{\partial h_j}{\partial t} - F_i = 0 \quad (5)$$

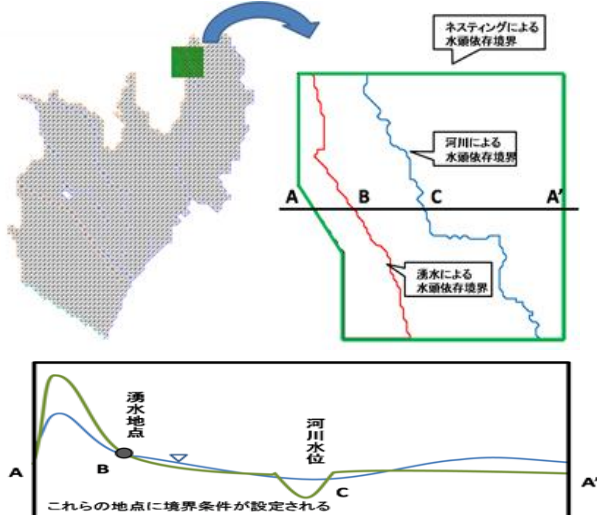


図-3 25m メッシュ境界条件の模式図

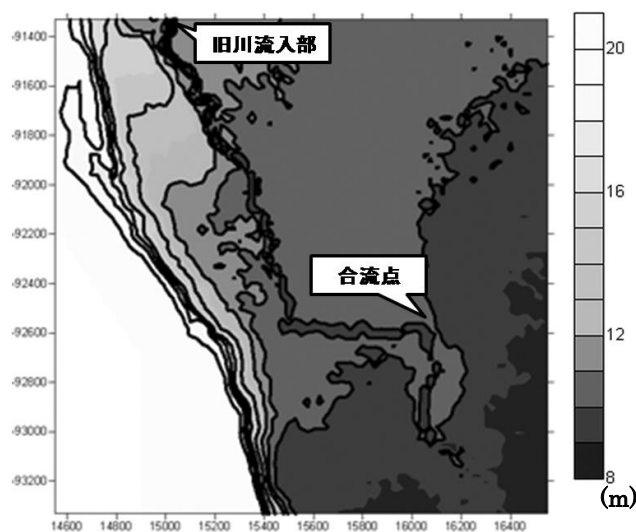


図-4 旧川流路周辺域の標高コンター図

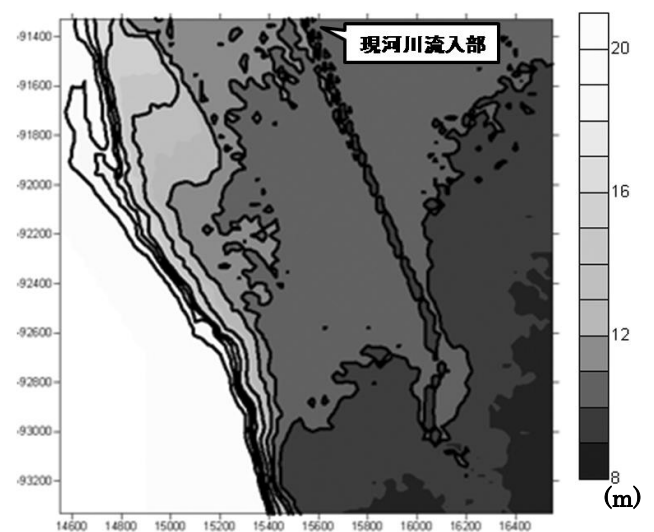


図-5 現河川流路周辺域の標高コンター図

ここで、 h にかかる係数行列は次のように表せる。

$$P_{ij} = \sum_{e=1}^M \int_e \left[T_e \frac{\partial \phi_i^e}{\partial x} \frac{\partial \phi_j^e}{\partial x} + T_e \frac{\partial \phi_i^e}{\partial y} \frac{\partial \phi_j^e}{\partial y} \right] dx dy$$

$$R_{ij} = \sum_{e=1}^M \int_e S^e \phi_i^e \phi_j^e dx dy$$

$$F_i^e = \sum_{e=1}^M \left(\int_e q \phi_i^e dx dy + \int_r \phi_i^e q_n ds \right) \quad (6)$$

ここで、3番目の式の右辺第2項は境界 s に沿った線積分を意味し、 q_n は境界を横切る単位長さあたりの流量(m^2/s)である。これらの積分は、Pinder *et. al.*⁵⁾、あるいはフヤコーンら⁶⁾の著作を参考に、要素サイズに応じて定式化された式から求める。結局、式(5)は時間に関する連立常微分方程式となり、これを次のような陰解法によって解く。

$$\left(\frac{[R]}{\Delta t} + [P] \right) h(t + \Delta t) = \left(\frac{[R]}{\Delta t} \right) h(t) + [F] \quad (7)$$

ここで、 $[P]$ 、 $[R]$ 、 $[F]$ は式(7)の係数行列である。なお、計算の時間ステップは1day(86,400sec)とした。

4. 地下水シミュレーションによる解析結果

3.2節、3.3節で設定した境界条件、基本パラメータをもとに実施した地下水シミュレーションの結果を図-6～図-12に示す。

図-6及び図-7には旧川流路と現河川流路での2003年月別平均地下水位の空間分布(3月、6月、9月、12月)を示した図である。旧川流路と現河川流路のいずれにおいても、久著呂川の右岸で水位が高いことが確認できる。また、解析対象範囲北東部において地下水位の季節変動が大きいことも確認できる。

図-8～図-12には、月平均地下水位と地盤標高の高低差

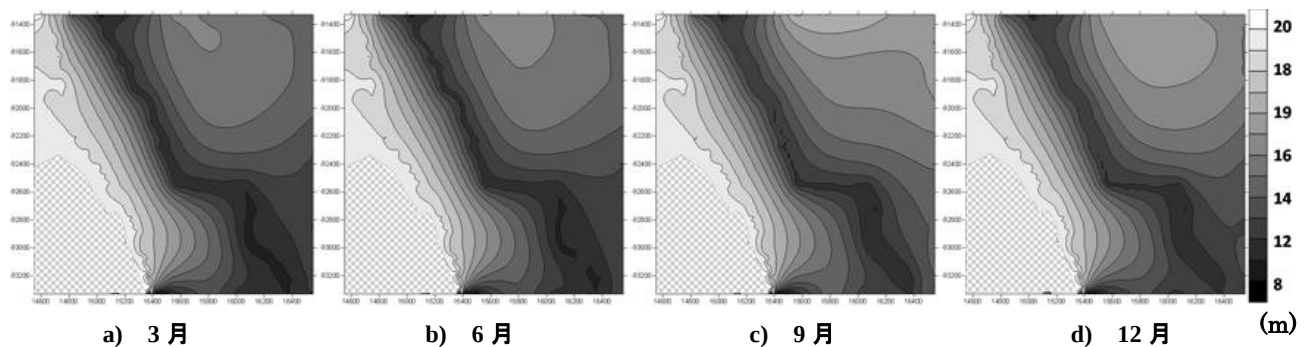


図-6 旧川流路の地下水シミュレーションによる月別平均地下水位 (網掛け部分は計算領域対象外)

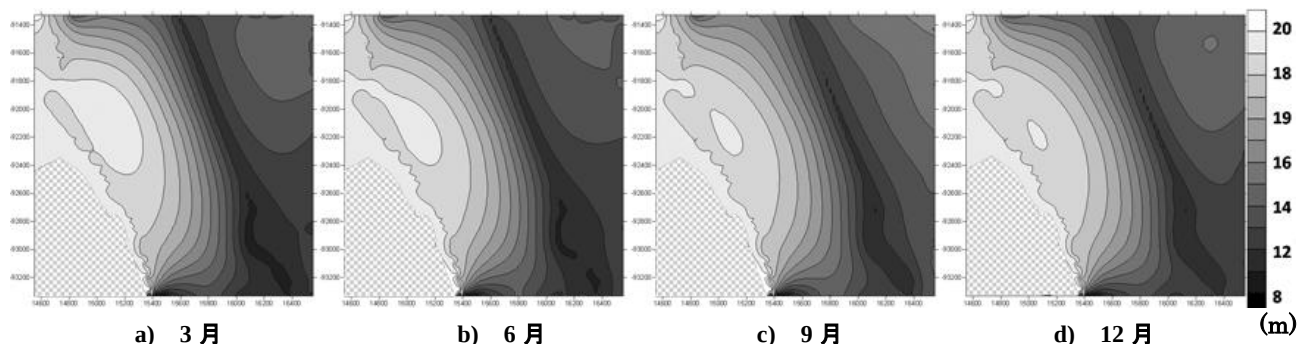


図-7 現河川流路の地下水シミュレーションによる月別平均地下水位 (網掛け部分は計算領域対象外)

の空間分布、月平均地下水位の分散値、現河川流路と旧川流路との年平均地下水位の高低差の空間分布を示している。図-8、図-9及び図-12より、「現河川流入部」から「旧川合流部」間の左岸側において著しい地下水位低下がみられる。これは河川流路が左岸側に移行したため、河川水位の影響を大きく受けるようになったためと考えられる。また、旧川と現河川流路に囲まれた個所で地下水位の増加が確認できる。図-10及び図-11の結果を比較すると、「旧川流入部」において分散値が大きくなっている。一方、「旧川合流部」では分散値に大きな変動はみられない。また、「現河川流入部」から「旧川合流部」間の左岸側において分散値の減少が確認できる。

久著呂川流域でのハンノキの1977年～1996年植生状況は全体的にハンノキ林は著しく増加している。しかし、1977年には現河川流路と旧川との合流部周辺にわずかに存在していたハンノキが1996年には消滅しており、ヨシ群落へと変化している個所が存在している。このことについては矢野ら⁷⁾も指摘している。

これらの解析結果と図-13に示したハンノキの増加量を比較することにより、ハンノキ林が減少、またはヨシ群落を維持している旧川合流部では、地下水位が高くなり、分散値が小さいことが確認できた。また、ハンノキ林が繁茂した個所は地下水位が低下している、あるいは地下水位が高くても分散値も大きい個所であることが確認できた。

5. まとめ

本研究では釧路湿原久著呂川流域を対象として地下水解析を実施した。その結果を以下に記す。

- 1) 旧川合流部では地下水位が高く、水位の変動が小さくなっているため、ヨシ群落が維持されたと推測できる。
- 2) 久著呂川左岸のように地下水位が低下した領域では、水位変動の大きさに関わらずハンノキが増加傾向に

ある。

- 3) 旧川流入部のように、水位が高くても水位変動が大きいとハンノキは減少しない傾向がある。

今後の課題として、他の箇所でも地下水解析をおこない、ハンノキ林の増加に地下水がどのような影響を及ぼしているのかより一般性のある見解を示していきたい。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、釧路湿原関連データを提供して頂いた国土交通省北海道開発局釧路開発建設部治水課の関係各位に対し、ここに記して深謝いたします。

参考文献

- 1) 釧路湿原自然再生協議会 HP,
<http://www.kushiro-wetland.jp/>
- 2) 辻井達一, 梅田安治, 桜田純司, 泥炭地の植生と地下水位, 釧路湿原自然生態基礎調査, 北海道大学農学部, pp.316-317, 2003.
- 3) 工藤啓介, 中津川誠: 北海道開発土木研究所月報, No.626, pp25-47, 2005.
- 4) W. キンツェルバッハ著, 上田年比古監訳, パソコンによる地下水解析, 森北出版, pp.78-119, 1990.
- 5) Pinder, G. F. and Gray, W.G., Finite element simulation

in surface and sub-surface hydrology, Academic Press, New York, pp.295, 1977.

- 6) P.S.フヤコーン, G.F.ピンダー, 赤井浩一監訳, 地下水解析の基礎と応用, 上巻, 基礎編, 現代工学社, pp.76-80, 1987.
- 7) 矢野雅昭, 村上泰啓, 加藤道生, 釧路湿原における久著呂川下流の湿原植生の変遷について, 第52回北海道開発技術研究発表会, 環 30, 2009.2.
- 8) 釧路市史編さん事務所編, 釧路湿原, 釧路新書, 1986.



図-13 77年～96年ハンノキ林増加域の分布

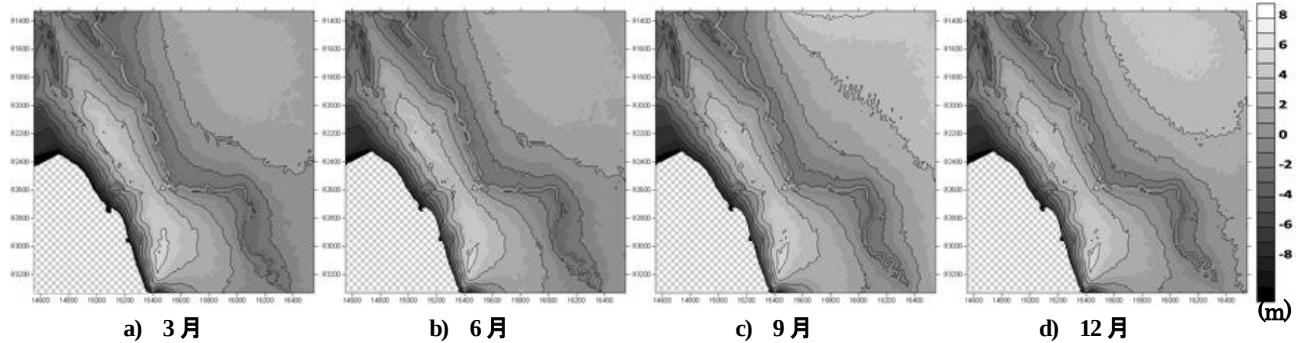


図-8 旧川流路の地下水シミュレーションによる月別平均地下水深 (網掛け部分は計算領域対象外)

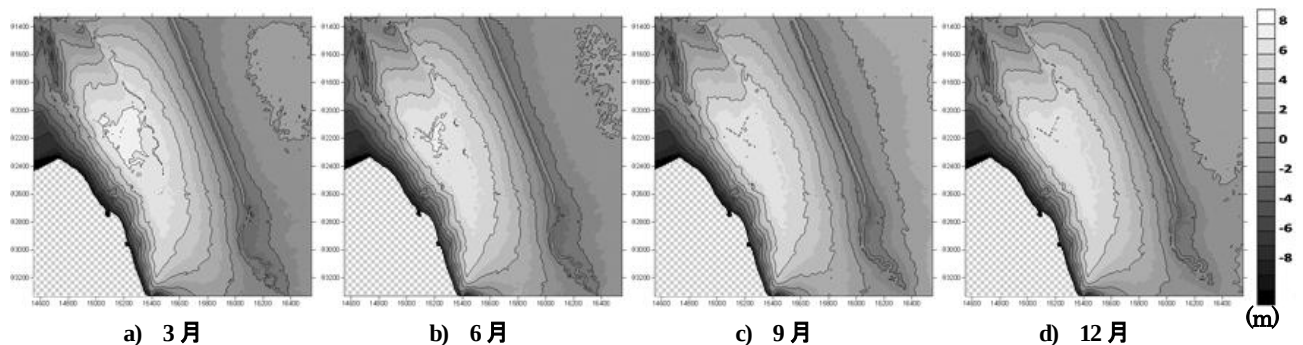


図-9 現河川流路の地下水シミュレーションによる月別平均地下水深 (網掛け部分は計算領域対象外)

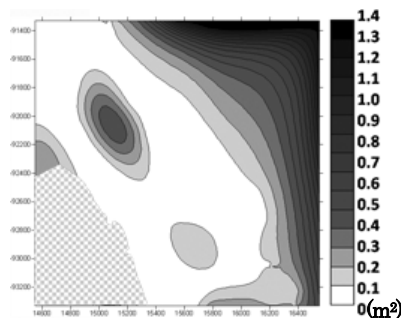


図-10 旧川流路シミュレーションの地下水位分散値

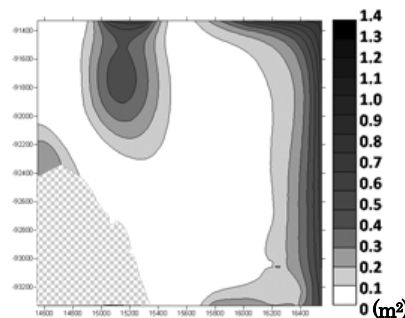


図-11 現河川流路シミュレーションの地下水位分散値

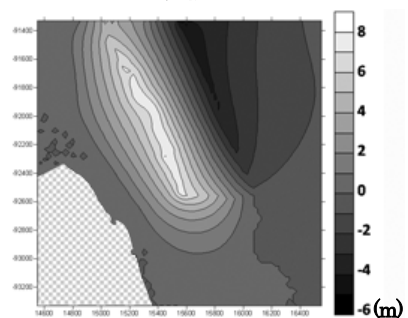


図-12 流路変更に伴う地下水位変動量