

釧路湿原の地下水位と地盤高の関係からみた植生分布の特徴について

Research on Distribution of Vegetation Based on Relationship between Groundwater Level and Elevation in Kushiro Mire

室蘭工業大学 ○学生員 工藤 俊 (Shun Kudo)
室蘭工業大学 正 員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)
室蘭工業大学 学生員 羽石 嵩 (Takashi Haneishi)

1. はじめに

釧路湿原は北海道の東部太平洋側に位置し、湿原面積18,290haの日本最大の湿原である。現在、湿原内において乾燥化が起因するとみられるハンノキ林の急激な拡大が確認されており、図-1に示すように1977年ではハンノキ林は湿原末端部に存在しているのみでその面積は湿原面積の約13%に過ぎなかったが、1996年になるとハンノキ林が急速に拡大しており2004年ではハンノキ林の面積が湿原面積の約46%を占めていることが報告されている¹⁾。このことから、湿原本来の機能を保全するにはハンノキ林拡大の原因を科学的に解明し、それを踏まえた対策を講じることが求められている。

そこで本研究では、地下水と植生の関係に着目し、観測データやシミュレーションによってどのような地下水環境の下でハンノキ林やヨシ群落が分布するかを分析した。具体的に述べると、最初に地下水観測データから地点毎の地下水位と植生の関係を整理し、次に地下水シミュレーションによって推定された水位分布と植生図を比較し、両者の関係性について湿原全域で検討した。

2. 地下水位観測データに基づく植生生育条件の分析

最初に地下水位と植生の関係を観測点毎に比較し、植生別の地下水位の特徴を検討する。

北海道開発局釧路開発建設部で湿原内118地点において実施されている地下水位の連続観測データを利用し、全体の中から植生の偏りがないように代表観測点を選ぶ。具体的には、周囲の植生がハンノキとなっている箇所とヨシとなっている箇所をそれぞれ6地点ずつ、計12地点(図-2参照)選び出し、2007年の1月から12月の日平均水位データを用意した。

各観測点の概要を表-1に、水位データを整理した結果を表-2に示す。ここで、相対水位とは水位から地盤高を差し引いたものであり、相対水位が正であれば水面が地表面より高く、負であれば水面が地下にあることを意味する。最高相対水位・最低相対水位はそれぞれ1年のうちの最高

の相対水位・最低の相対水位を表し、冠水頻度とは1年間の中で水位が地盤高を超えた日数であり、10cm頻度とは相対水位が10cmを超えた日数を表し、20cm頻度以降についても相対水位が各々20cm、30cm、40cmを超えた日数となる。また地下水変動の指標として相対水位の分散値を観測点毎に計算し、表-2に加えた。さらに、平均相対水位の高い順に、観測点に順位づけしたものを表-3に示す。

まず、表-2に注目する。周辺の植生がヨシである6箇所

の観測点の冠水頻度をみると、湿原No.7と湿原No.38以外では冠水頻度が高く平均相対水位が0m以上であり、さらに最高相対水位が0.16m~0.74mと、ヨシ群落は常時冠水するような環境で生息しやすいことが推察される。しかし、湿原No.7と湿原No.38においては一年を通して冠水はなく、平均相対水位は湿原No.7において-0.32m、湿原No.38において-0.80mとなっており、データ上はそのような場所でもヨシが生育していることが示された。

また、周辺の植生がハンノキである6箇所の観測点の冠

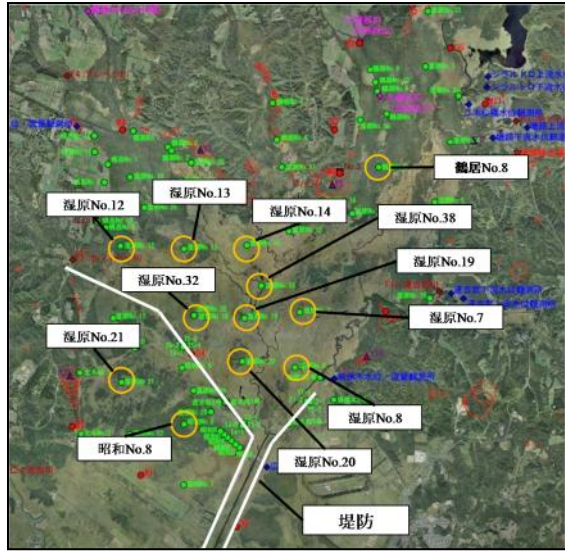


図-2 抽出した観測点

表-1 地下水観測点概要

観測点	概要
湿原No.7	湿原中心部・ヨシが卓越
湿原No.8	湿原中心部・ヨシが卓越
湿原No.32	湿原中心部・ヨシが卓越
湿原No.38	湿原中心部・ヨシが卓越
湿原No.14	湿原北部・ヨシが卓越
湿原No.21	右岸堤南部・ヨシが卓越
湿原No.19	湿原中心部・わずかにハンノキが生息
湿原No.20	湿原中心部・ハンノキが卓越
湿原No.12	湿原北西部・ハンノキが卓越
湿原No.13	湿原北西部・77年から04年でヨシからハンノキへ変化
昭和No.8	右岸堤南部・ハンノキが卓越
鶴居No.8	湿原北東部・ハンノキが卓越

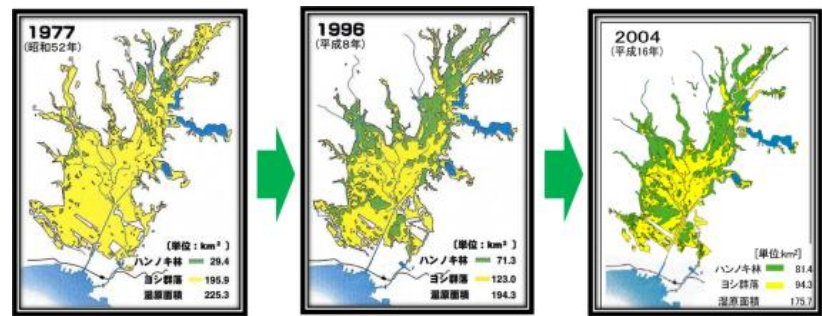


図-1 釧路湿原における植生変化

(釧路湿原自然再生協議会 HP¹⁾、北海道開発局釧路開発建設部提供より)

水頻度を見ると、湿原 No.20 では常時冠水しているものの、他の5箇所で常時冠水している観測点はなく、冠水頻度が比較的多い湿原 No.12 においても最高相対水位は0.14mであり、水位が地表面付近に集中していることがわかる。矢野ら²⁾によるとハンノキは0.1m～0.3mの小さい基部の上に育成しており、基部が冠水されることによりハンノキの生長が抑制されるとの見解を示している。湿原 No.12 においてはハンノキの基部が水没していないために冠水頻度が多いにも関わらず、周囲の植生がハンノキとなっているのではないかと考えられる。

さらに地下水位の分散値に注目すると、湿原 No.8・湿原 No.38・鶴居 No.8 での分散値が高く変動が大きいことがわかるが、水位変動と植生との因果関係については明確ではない。

次に、表-3 に示された平均相対水位の順位と植生の関係を見ると、平均相対水位が上位の観測所での植生はヨシが多く、下位の観測所での植生はハンノキが多くなっており一般論から言うと、ハンノキ林は常時冠水する箇所では生息しにくく、ヨシ群落よりもより乾燥した環境で生息しやすい傾向がうかがえる。すなわち、冠水があっても基部が水没していなければハンノキは生息可能であるということが検証されたといえる。

しかし、湿原 No.7・湿原 No.38・湿原 No.20 に注目すると、上記に示したような地下水環境と植生の関係に従わない地点が存在することがわかる。これらの観測点の位置関係を図-2 から確認すると3点とも湿原中心部であり、このような箇所でのハンノキ林の生息条件に関わる要因は他にないかを精査していくことが今後の課題であるといえる。

3. 地下水シミュレーションに基づく植生分布の分析

前章では地下水位と植生の関係を観測点毎に分析してきたが、これを面的に拡張するために地下水解析を実施して水位分布・水位変動を推定することを試みた。

解析対象範囲・解析メッシュは湿原内の植生分布との比較を十分にできる広さと判断し、工藤ら³⁾が分割した約250m×250m 三角形メッシュを使用した。解析対象範囲を図-3 に示す。

3.1 計算手法

解析モデルには次式に示す2次元非定常モデルを用い、有限要素法により計算を行う。

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

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

3.2 基本パラメータの設定

ここで、有効雨量・境界条件・初期地下水位・帯水層厚といったパラメータは工藤ら³⁾が推定した値を使用した。

貯留係数については地下水位の再現性がさらに良くなるよう、文献⁴⁾に記された一般的に用いられる範囲の中で試行錯誤した結果 $S=0.4$ とし、透水係数についても地下水解析精度のさらなる向上を目指し、再設定を試みた。

(1) 透水係数推定手法

湿原域の透水係数については羽山ら⁵⁾によっておこなわれた研究を参考に、2次元定常モデル(1)式の右辺を0としたものを用いて、実測水位をもとに与えられた初期地下水位を、計算後も維持するような透水係数を設定する。その際、透水係数を根拠のある値にするために制限値を設けた。ただし、透水係数に制限値を設けると、帯水層厚の小さい箇所では透水係数の上限値を与えても透水量係数は周囲よりも小さくなり水位が安定しないといったことが考えられるため、透水量係数に表-4 のような制限値を設けた。

透水量係数制約値の設定方法としては、最初に、釧路湿原地質断面図(北海道開発局釧路開発建設部提供)を参考に、粘土・シルトの透水係数を湿原内の最小透水係数、砂礫の透水係数を湿原内の最大透水係数とみなし、それぞれの透水係数は文献⁴⁾に記された値を使用する。次に最小透水量係数は粘土・シルトの透水係数に湿原内の最小の帯水層厚を乗じることにより算出し、最大透水量係数は砂礫の透水係数に湿原内の最大の帯水層厚を乗じることにより算出した。

表-4 に示した透水量係数制限値を解析対象範囲全域に適用し、図-4 に示した手法で透水係数の更新を繰り返すと初期水位の再現性が向上し、透水係数が収束してくる。具体的には3回程度の修正更新を行って透水係数の空間分布を比較し、変化が少ない場合収束したと判断する。更新前と更新後の透水係数の空間分布を図-5 に、観測値に基づく初期相対水位と定常モデル適用後の相対水位の比較を図-6 に示す。

表-3 平均相対水位をもとにした順位付け

順位	平均相対水位		
	観測点	周囲の植生	相対水位(m)
1	湿原No.20	ハンノキ	0.37
2	湿原No.21	ヨシ	0.36
3	湿原No.14	ヨシ	0.30
4	湿原No.8	ヨシ	0.09
5	湿原No.32	ヨシ	0.06
6	湿原No.12	ハンノキ	0.02
7	昭和No.8	ハンノキ	-0.10
8	湿原No.19	ハンノキ	-0.11
9	鶴居No.8	ハンノキ	-0.22
10	湿原No.13	ハンノキ	-0.24
11	湿原No.7	ヨシ	-0.32
12	湿原No.38	ヨシ	-0.80

表-2 各観測点における観測水位の整理結果

	湿原No.7	湿原No.8	湿原No.32	湿原No.38	湿原No.14	湿原No.21	湿原No.19	湿原No.20	湿原No.12	湿原No.13	昭和No.8	鶴居No.8
冠水頻度(日)	0	271	359	0	365	365	21	365	211	0	19	57
10cm頻度(日)	0	139	45	0	365	365	3	365	22	0	0	16
20cm頻度(日)	0	43	0	0	361	365	0	365	0	0	0	2
30cm頻度(日)	0	34	0	0	173	352	0	296	0	0	0	0
40cm頻度(日)	0	26	0	0	8	58	0	92	0	0	0	0
周囲の植生	ヨシ	ヨシ	ヨシ	ヨシ	ヨシ	ヨシ	ハンノキ	ハンノキ	ハンノキ	ハンノキ	ハンノキ	ハンノキ
最高相対水位(m)	-0.09	0.65	0.16	-0.02	0.46	0.74	0.12	0.81	0.14	-0.11	0.04	0.22
最低相対水位(m)	-0.50	-0.19	-0.02	-1.31	0.19	0.24	-0.25	0.23	-0.13	-0.33	-0.22	-0.52
平均相対水位(m)	-0.32	0.09	0.06	-0.80	0.30	0.36	-0.11	0.37	0.02	-0.24	-0.10	-0.22
地下水位の分散(m^2)	0.004	0.026	0.001	0.105	0.002	0.003	0.003	0.007	0.002	0.002	0.002	0.024

更新後の透水係数の空間分布を見ると、湿原西部の透水係数が高く、中心部では低くなり東部ではまた少し高くなるといった分布になっている。釧路湿原の水理地質断面図（北海道開発局釧路開発建設部提供）によると湿原西側において洪積透水層が厚く、中心部においては難透水層が厚く東部では難透水層の上部に沖積低透水層が存在しているとされ、推定した透水係数分布は釧路湿原における水理地質構造をほぼ反映していると考えられる。また、相対水位比較図を見ると、若干の上昇は見られるものの相対水位の高い箇所・相対水位の低い箇所といった傾向を反映した分布は十分に再現できており、実測水位をもととした初期水位を維持できる透水係数の推定がされたと判断できる。

3.3 地下水シミュレーション

設定されたパラメータを用いて地下水シミュレーションを実施する。解析対象期間は2001年～2003年とし、時間ステップは1day(86,400sec)とした。

(1) 解析精度の検証

地下水位観測データと地下水シミュレーション結果の比較を図-7に示す。

実測値よりも計算値の方が、変動幅が大きく変動が緩やかな傾向にあるもののそれぞれ平均的な水位は概ね妥当に再現されており、解析対象範囲全域での境界条件・有効雨量・初期地下水位・帯水層厚の設定と再設定を試みた貯留係数・透水係数が的確だったと考える。

(2) 地下水分布と植生図の比較

推定された水位分布と植生図を比較し、両者の関係を検討する。

2003年の年平均の相対水位の空間分布と2004年の釧路湿原内における植生図をそれぞれ図-8および図-9に示す。なお、相対水位図には0.2mで等相対水位線を加えた。

相対水位図・植生図を比較すると、湿原縁辺部においてハンノキ林の密度が低いような箇所では、全てとはいえないが十分に説得力のある範囲（植生図の丸で囲われている箇所）で相対水位が高いことが確認できる。これは相対水位が高い箇所ではハンノキ林よりもヨシ群落が生息しやすいという観測データより得られた結果と一致している。つまり、釧路湿原における現在の植生分布を説明する上

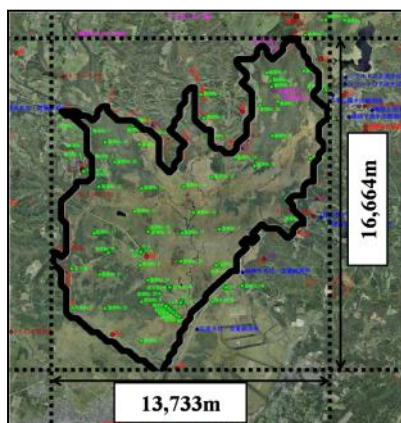


図-3 解析対象範囲

表-4 透水量係数制限値

土質区分	透水係数(m/d)	制限値	透水量係数(m ² /d)
砂礫	8.6×10	最大透水量係数	5.268×10^3
粘土・シルト	4.0×10^{-2}	最小透水量係数	4.000×10^{-5}

で相対水位が一つの大きな指標となっていることが面的にも示されたといえる。

また、湿原中心部においては相対水位がさほど高くないにもかかわらずヨシ群落が卓越し、これは2章における湿原No.7・湿原No.38の観測点で示された事実と一致しており、やはり湿原中心部でのハンノキ林の生育条件に関わる他の要因を精査することの必要性がシミュレーションの結果からも示された。

しかし、湿原No.20に注目すると、計算値が実測値よりも低く推移しており、図-7における他の観測点よりも精度が低い。この理由として、図-2の観測点の位置関係を見ると、湿原No.20は右岸堤と左岸堤の合流部に近く、地下水解析の際に地表面上にある堤防の水位せき上げ効果が反映できていないことが考えられる。

(3) 地下水分布と地形の関係

これまで相対水位分布と植生の関係を見てきたが、相対水

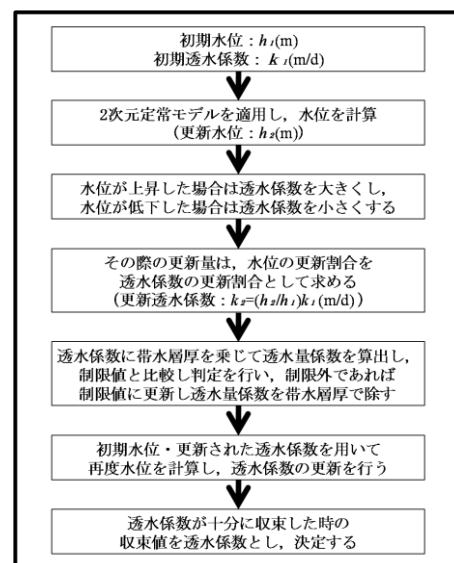


図-4 透水係数推定フロー図

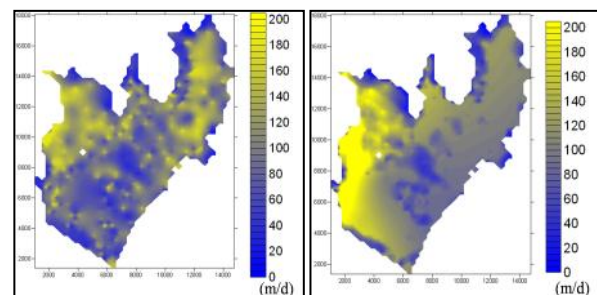


図-5 透水係数図 (左:更新前, 右:更新後)

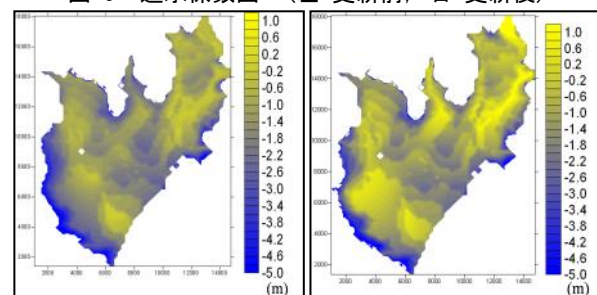


図-6 相対水位比較図

(左:初期相対水位, 右:定常モデル適用後)

位が高い箇所はどのような所であるのかについて地形に着目してみた、そこで今回使用した 250m メッシュ標高データを図化し、図-10 に示す。

標高図と相対水位図を比較すると、標高が周囲よりも低く、窪んでいるような地形の所で相対水位が高いことが確認できる。これは標高の高い所から標高の低い所へ地下水が流れ出すためだと考えられ、標高の低い所でハンノキ林が生長しにくく標高の高い所でハンノキ林が生長しやすいといった、標高とハンノキ林分布の関係に関する知見⁶⁾を地下水条件と絡めて説明できるものであるといえる。

4. まとめ

本研究で得られた成果を下記に示す

- 1) 各観測点で得られた地下水位データと植生の比較により、一般的な傾向として相対水位が高い環境ではヨ

シ群落が生息しやすく、相対水位が低い環境ではハンノキ林が生息しやすいことが確認でき、冠水があってもハンノキの基部が水没しないような相対水位であればハンノキは生息可能であることを検証した。

- 2) 2次元定常モデルを用いて透水係数を妥当に設定したことで、より精度の高いシミュレーションが可能となり、釧路湿原の面的な地下水位分布を的確に把握することができた。それにより湿原縁辺部においてハンノキ林の密度が疎である箇所では、そうでない箇所よりも相対水位が高い傾向にあることを示した。
- 3) 相対水位の高い箇所は周囲よりも標高が低いことが明らかとなり、標高とハンノキ林分布の関係を地下水環境の観点から説明できた。

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、また地下水解析を行うに当たり基礎知識・データ・資料といった面でご協力して頂いた、株式会社ドーコン河川環境部の工藤啓介氏に対し、ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 釧路湿原自然再生協議会 HP,
http://www.ks.hkd.mlit.go.jp/kasen/kushiro_wetland/index.html
- 2) 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.
- 3) 工藤啓介, 中津川誠: 釧路湿原の水循環と地下水の動向について, 北海道開発土木研究所月報, No.626, pp25-47, 2005.
- 4) 日本地下水学会, 地下水流動解析基礎理論のとりまとめに関する研究グループ編: 地下水シミュレーション, これだけは知っておきたい基礎理論, 技報堂出版, pp.88, pp.90, 2010.
- 5) 羽山早織, 中津川誠: サロベツ湿原の地下水環境と植生変化について, 北海道開発土木研究所月報, No.612, pp.3-20, 2004.
- 6) 羽石嵩, 中津川誠, 工藤俊: 釧路湿原におけるハンノキ林の拡大に及ぼす地下水の影響についての研究, 水工学論文集, 第55巻, 2011.2.

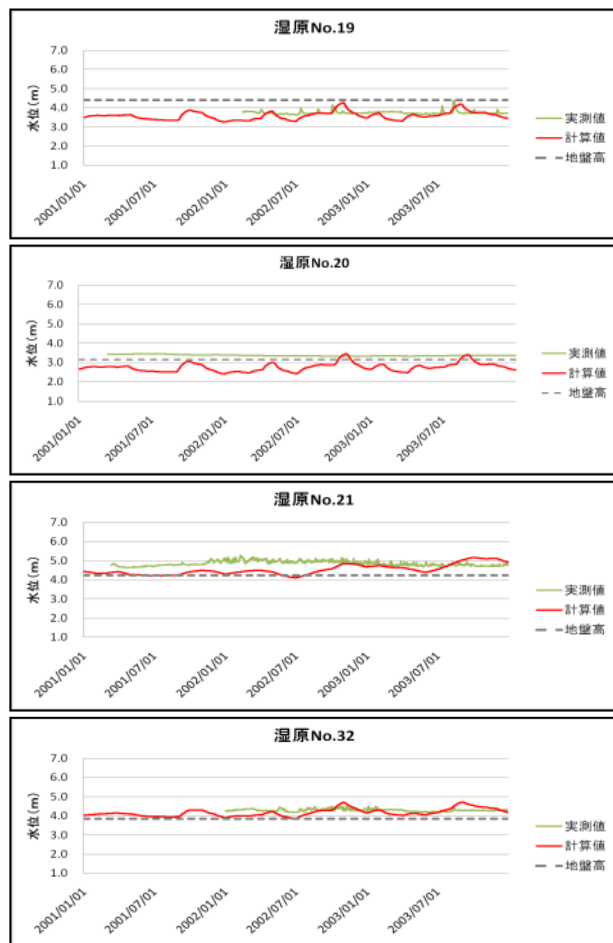


図-7 計算結果と実測値

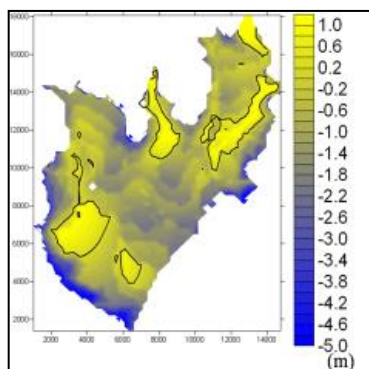


図-8 相対水位図 (2003 年 年平均)

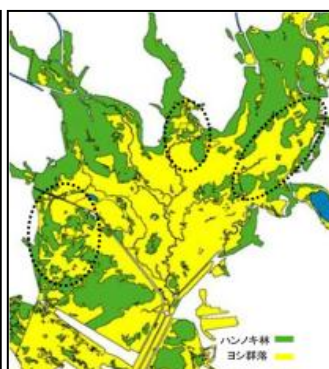


図-9 植生図 (2004 年)

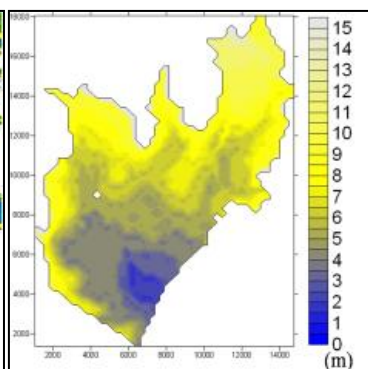


図-10 標高図