論 説

PNG 標高タイル —Web 利用に適した標高ファイルフォーマットの考案と実装—

西岡 芳晴¹⁾・長津 樹理¹⁾

PNG Elevation Tile — Design and implementation of the elevation file format for Web use —

Yoshiharu NISHIOKA¹⁾ and Juri NAGATSU¹⁾

Abstract : Because elevation data express the topography, and the formation of the topography greatly depends on the geologic factor, the utilization of elevation data is important geologically. In recent years, you can get elevation data of the various region or precision with progress of science and technology. But when judging from the angle as the web use, utilization is hardly developed by recent years' interactive Web site use. We designed the PNG Elevation Tile as a format to handle them at high speed on the web and built the test service to promote profit utilization of elevation data. By the PNG elevation tile, an elevation datum is treated for a 24 bit signed integer, and it is separated by 8 bit to RGB and is saved in a pixel. In comparison with existing technique, the PNG elevation tile has three advantages such as, small file size, easy processing and good visibility. And furthermore, we implemented elevation indication function of the Seamless Geological Map of Japan using PNG Elevation Tile, and built flooding simulation as test web application. Through this utilization, it was indicated that interactive web application can be built at high speed using PNG Elevation Tile, and the effectiveness of PNG Elevation Tile was demonstrated.

Key words : Elevation, PNG, JavaScript, 3D, Tile

1. はじめに

標高データは地形を表現する最も基本的なデータである。標高データが直接表現するのは地形であるが、地形の形成は地質学的な要因に大きく支配されるため、標高データから地質に関する情報を読み取ることができる。また、地質情報を視覚的に表現し、伝達するためには標高データとの連携が特に有効である。

標高データは、その有効活用を図るためにこれまでも様々な形で公開されてきた。全球規模では、経済産業省及びNASAが地球観測衛星 Terra による水平解像度 30m、高さ精度 7~10m の陸域標高データを「ASTER 全球 3 次元地形データ」として公開しており、社会公益性の高い分野へは無償で提供している（宇宙システム開発利用推進機構、2015）。また、宇宙航空研究開発機構は陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS）による水平解像度 5m、高さ精度 5m の陸域標高データの整備を開始し、整備済みエリアから順次

提供を開始している（地球観測研究センター、2015）。日本国内では、国土交通省国土地理院（以下地理院）が「基盤地図情報（数値標高モデル）」として、航空レーザ測量及び写真測量による 5m メッシュ、1/2.5 万分の 1 地形図の等高線による 10m メッシュのデータを公開し、Web サイトからダウンロードして使用可能である（国土地理院、2015a）。さらに 2013 年から、地理院タイルとして公開している様々な地図タイルの中の 1 つとして「地理院タイル（標高）」の提供も開始し、地図 Web サイトから利用可能である（国土地理院、2015b；小清水・高桑、2013）。このタイルはデータソースとして基盤地図情報の「10m メッシュ標高データ」を使用している。他の地理院タイルと同一のタイル座標、ピクセル座標を用いており、投影法は真球メルカトルである。ファイルフォーマットはカンマ区切りのテキスト形式で、提供されるズームレベルは 0~14 である。また、標高タイルそのものの公開に加えて、Web API

2015年7月2日受付、2015年10月3日受理

日本地球惑星科学連合 2014 年大会（2014 年 5 月、横浜）で一部口頭発表

1) 国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質情報研究部門 Institute of Geology and Geoinformation, AIST, Tsukuba Central 7, 1-1, Higashi 1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567, Japan. E-mail:y-nishioka@aist.go.jp

として標高取得APIも提供している。

このように科学技術の進歩に伴い、様々な範囲、精度の標高データが安価もしくは無償で入手できる時代となったが、Web利用という観点から見た場合、ダウンロードやピンポイントの標高取得に用いられる程度で近年の対話的なWebサイト利用ではほとんど活用が進んでいない。我々は、地理院の協力を得て標高データの利活用促進のための研究を行い、Web上で高速に扱うためのフォーマットとして、Webで一般的に用いられる画像フォーマットであるPNGを利用した「PNG標高タイル」を考案した。また、いくつかのテストアプリケーションを作成、公開し、PNG標高タイルの有効性を検証、PNG標高タイルの仕様の改善を図った。ここでは、考案したPNG標高タイルとそれを実験提供するシームレス標高サービス（仮称）、及び実験サービスを利用した日本シームレス地質図標高タイル取得機能と浸水シミュレーションについて述べ、PNG標高タイルの有効性について考察する。

2. PNG 標高タイル

2.1. 概要

Webブラウザ上で標高データを利用したサービスを高速かつ簡便に利用するために、地図画像の画素に標高データを書き込んでタイル分割した「PNG標高タイル」を考案した。画像フォーマットであるPNGを利用しており、Web地図アプリケーションで近年よく利用されている地図タイルと同様に、ズームレベルごとに解像度の異なるデータセットを用意し、通常は256×256ピクセルの正方形タイルに分割してサーバ上に配置して利用する。PNG標高タイルの仕様は以下のWebサイトで公開している。

http://gsj-seamless.jp/labs/elev/doc/png_elev_tile.html

以下にその要点を述べる。

2.2. ファイルフォーマット

ファイルフォーマットとしては、PNGの24 bit RGB, 32 bit RGB, 8 bit インデックスカラーのいずれかを用いる。PNG標高タイルでは、各標高値は24 bit 符号付き整数で扱い、またαチャンネルは使用しないので32 bit RGBを利用する必要性はないが、タイル作成ツールの制約を緩和するために仕様に含めている。

2.3. 各セルの値が示す内容

各セルの値はセル北西端の格子交点の標高値を表している（第1図）。セル範囲全体の代表値（平均値や中央値など）ではなく、地理院タイル（標高）がセルの中心位置の標高を表しているのとも異なっている。格子交点の値としたのは、3Dグラフィックスで利用する際にタイル境界のデータを扱いやすくするためと、高解像度のタイルから低解像度のタイルを生成する際に平均化や補間が不要となりアルゴリズムが単純化できるためである。

第1図 各セルの値が示す標高の位置
PNG標高タイルでは、格納される標高値はそのセルの北西端(P)の位置の標高値である。

標高値は、データセット毎に規定される標高値の分解能（標高分解能と呼ぶ）で割って24 bitの符号付き整数に変換され、上位から8 bit ずつR,G,Bに分解されて対応する画素に保存されている（第2図）。なお、有効なデータが得られない場合は無効値（NA）として扱う。

また、主に3Dグラフィックスでの利便性のために、東隣、南隣とのタイルとの境界部の標高値も保持するフォーマットを「拡大タイプ」として規定する。

2.4. 標高データの取得方法

PNG標高タイルの画素のRGB値（ $r, g, b = 0 \sim 255$ ）から標高値を取得するには、まずRGB値の各bitをこの順でつなげて24 bitとし、次にそれを24 bitにおける2の補数表現であると解釈して符号付き整数値を得、さらに標高分解能 u (m)をかけて標高値 h (m)を得る。ただし、24 bitで表現できる負の最大標高値は無効値（NA）を表すものとする。具体的な計算式は以下の通り。

$$x = 2^{16}r + 2^8g + b$$

$$h = \begin{cases} xu, & (x < 2^{23}) \\ \text{NA}, & (x = 2^{23}) \\ (x - 2^{24})u, & (x > 2^{23}) \end{cases}$$

なお、無効値のRGB値は（ $r = 128, g = 0, b = 0$ ）となり、標高分解能には依存しない。

2.5. 扱える標高値の範囲

扱える標高値の範囲は標高分解能により異なるが、仮に標高分解能を0.01mとして保持する場合、 $-2^{23} \cdot 0.01 = -83,886.07$ (m)から $2^{23} \cdot 0.01 = 83,886.07$ (m)までの標高値が表現可能である。この範囲は世界最高標高のエベレスト（8,844.43m）や世界最深のマリアナ海溝チャレンジャー海淵（10,991m）を十分に表現できる。

3. シームレス標高サービス（仮称）

前節の仕様に基づいて地理院タイル（標高）を元にPNG標高タイルを作成し、それを提供するテストサービスを構築し、以下のURLで公開した。

<http://gsj-seamless.jp/labs/elev/>

第2図 標高値から画素への変換手順
 富士山山頂付近（ズームレベル9，標高分解像度0.01m）の
 標高値の場合。

第1表 PNG 標高タイルテストサービスの概要

測地系	世界測地系 (WGS84)
投影法	半径 6378137m 真球メルカトル図法
タイル分割法	地理院タイルのタイル分割法に準ずる
ズームレベル	0 ~ 13
標高分解能	1m, 0.01m
ファイルフォーマット	PNG 24ビットRGB または 8ビットインデックスカラー
データソース	地理院タイル (標高)

テストサービスでは日本国内の陸域について、PNG 標高タイルそのものの提供に加えて、指定した位置の標高値を返す標高APIやPNG 標高タイルから生成できる陰影タイル等も同時に提供している。このサービスのうち、特にPNG 標高タイルに関する部分の概要を第1表にまとめ、以下に要点を記述する。なお、シームレス標高サービスはPNG 標高タイルの有効性を検証するための実験公開であり、永続的なサービス提供は予定されていない。

3. 1. タイル URL テンプレート

PNG 標高タイルを取得する際のタイルURL テンプレートは以下の通りである。

`http://gsj-seamless.jp/labs/elev/elev/{z}/{y}/{x}.png?size={size}&res={res}`
 {res}: 標高分解能. 'm' または 'cm' で指定
 {z}: ズームレベル (0 ~ 13, ただし {size} が 256 以外は 4 ~ 13)
 {y}: タイル Y 座標
 {x}: タイル X 座標
 {size}: タイルのピクセルサイズ. 17, 33, 65, 129, 256 (デフォルト), 257 のいずれかを指定

第3図 ズームレベル0～2の各タイルの範囲とタイル座標
 国土地理院 Web サイト (国土地理院, 2015d) より引用。
 図内の ZL はズームレベルを表す。

第4図 NG 標高タイルテストサービスで取得できるタイルの例
 (a) 標高分解能: 1m, ズームレベル: 9, ファイルサイズ: 63.9kb
 URL <http://gsj-seamless.jp/labs/elev/elev/9/202/453.png>
 (b) 標高分解能: 1cm, ズームレベル: 9, ファイルサイズ: 105kb
 URL <http://gsj-seamless.jp/labs/elev/elev/9/202/453.png?res=cm>
 (c) 標高分解能: 1cm, ズームレベル: 8, ファイルサイズ: 82.6kb
 URL <http://gsj-seamless.jp/labs/elev/elev/8/101/226.png?res=cm>
 (d) 標高分解能: 1cm, ズームレベル: 8, タイルサイズ: 129, ファイルサイズ: 28.2kb
 URL <http://gsj-seamless.jp/labs/elev/cm/9/202/453.png?res=cm&size=129>

[ ] 内は省略可能で、size と res の指定は逆になってもかまわない。

なお、ここで「タイル X 座標」、「タイル Y 座標」とは、そのズームレベルにおけるタイルの位置を指定するもので、地理院タイルにおける定義と同一である (第3図)。すなわち、西経 180 度、北緯約 85.05 度を北西端とするタイル画像を X = 0, Y = 0 として、東方向を X 正方向、南方向

第5図 日本シームレス地質図標高取得機能の利用画面
20万分の1日本シームレス地質図のメインビューアで標高値を表示させた例（ボックスのタイトルバーの右端）

第6図 「浸水シミュレーション」テストアプリケーションの表示画面
浸水シミュレーションでは、PNG 標高タイルを使用して、日本全国を対象に津波・地球温暖化等で水位が上昇した場合の浸水領域を表示できる。

をY正方向にとったものである。取得できるタイルの最大範囲は、ズームレベル13の場合で、 $Y = 2928 \sim 3621$, $X = 6889 \sim 7618$ となる。具体的なURLの指定と取得できるタイル画像の例を第4図に示す。

標高タイルが存在しない場合は、デフォルトでは404 Not foundを返す。

3.2. サイズ指定と拡大タイル

クエリパラメータ内の{size}でタイルのピクセルサイズを指定することができる。指定がない場合はデフォルトの256(px)となる。{size}に17, 33, 65, 129, 257のいずれかを指定すると、拡大タイプとなり、タイルの最終列および最終行は、タイルの東縁および南縁の標高を表すものとする。

すなわち、隣のタイルと標高値が重複する。拡大タイプは 3D レンダリング等で使用する。

3.3. 実装方法

標高値は国土地理院が提供する標高タイルデータ（10m メッシュ、ズームレベル $z=14$ 相当）をもとに計算している。ただし、北方四島は 250m メッシュのデータを元に作成している。

このテストサービスの PNG 標高タイルは、地理院タイル（標高タイル）の CSV ファイルを PHP の GD2 を利用して PNG ファイルとして出力している。具体的には、まず $z=14$ の CSV ファイルから $z=14$ の PNG ファイルを出力する。この PNG ファイルは公開用の PNG 標高タイル作成のための一時ファイルである。PNG 標高タイルの仕様では標高値はセルの北西端の標高値を保存すべきで、原データの地理院タイル（標高）はセルの中央の標高値であるが、 $z=14$ ではリンサンプリングは行わずそのまま保存する。次に $z=14$ から $z=13$ の PNG 標高タイルを生成するが、これも本来ならサンプリングを行うべきであるが、計算の簡素化のために $z=14$ で対応する 4 つのセルのうちの北西（左上）のセルの値をそのまま採用している。さらに、 $z=13$ からより低ズームレベルのタイルを生成するが、この場合は単純に 1 つズームレベルの大きいタイルの対応する 4 つのセルのうちの北西（左上）のセルの値を採用すればよい。これをすべてのズームレベルについて逐次的に行う。

4. アプリケーションでの利用

4.1. 日本シームレス地質図標高取得機能

日本シームレス地質図のメインビューア（地質調査総合センター、2015）では、この PNG 標高タイルを利用して、マウスクリック位置の標高を表示するサービスを提供している（第 5 図）。この機能は PNG 標高タイルテストサービスを移植して利用しているが、標高 API は使用しておらず、タイル画像からピクセル情報を取り出して表示している（付録 A）。

なお、JavaScript では、ビット演算では 32 bit の 2 の補数が用いられているので、標高値の取得は以下のように計算することもできる。

```
hyoko=(rgb_b*256*256+rgb_g*256+rgb_b)<<8>>8;
```

4.2. 浸水シミュレーション

Web アプリケーションにおける PNG 標高タイルの有効性を検証するために「浸水シミュレーション」テストアプリケーションを作成した（第 6 図）。以下にその URL を示す。

<http://gsj-seamless.jp/labs/elev/shinsui.html>

このアプリケーションは、日本全国を対象に、津波・地球温暖化等で水位が上昇した場合の浸水領域を閲覧できる。主な機能は以下の通り。

- ・水位を m 単位で指定して浸水域を描画可能（最大

200m）。水位はスライダーで変更することもできる。

- ・浸水域の下位レイヤとして、シームレス地質図を表示することができる。基本版・詳細版の切り替え、スライダーによる不透明度変更が行える。クリックすると、マウス地点のシームレス地質図の説明を表示する。
- ・背景地図は、地理院地図、OpenAerialTile、Google マップから選択することができる。
- ・現在表示されている地図のズームレベル、マウス位置の緯度・経度が左サイドパネル上に表示される。

このアプリケーションは JavaScript で実装され、地図表示には OpenLayers が使用されている。OpenLayers では、タイルを使用するレイヤは個々のタイルの描画に OpenLayers.Tile.Image オブジェクトを使用しており、このオブジェクトの派生オブジェクトを作成しメソッドをオーバーライドすればタイル描画をカスタマイズできる。浸水シミュレーションでは、浸水域の描画を行うための ShinsuiMapTile オブジェクトを OpenLayers.Tile.Image から派生し、filter メソッドをオーバーライドしている。filter メソッドでは、canvas を受け取って浸水域を描画する関数を記述している（付録 B）。なお、付録 B では、読みやすくするために実際に使われているコードを一部変更している。

作成した ShinsuiMapTile を使用するには、レイヤ用の OpenLayers.Layer.XYZ オブジェクト生成時に、コンストラクタの第 3 引数の tileClass フィールドでこの ShinsuiMapTile クラスを指定する。最後に Map オブジェクトにレイヤを追加する（付録 C）。

5. 考 察

5.1. PNG 標高タイルの利点

標高データをタイル状に分割して Web 上で扱うためには、他にも国土地理院のように CSV 形式で提供したり、直接バイナリ形式で保存したり、文字コードで利用する UTF エンコードを応用したりなどいくつかの方法が考えられる。PNG 標高タイルの利点としては、第 1 に CSV 形式と比べてファイルサイズが大幅に小さくなるという点があげられる。国土地理院の CSV では、例えば 100.00m という標高には区切り文字を含めて 7 バイト必要であるが、PNG 標高タイルは 3 バイトで表現できる。ファイルサイズが小さくなれば、Web アプリケーションの体感動作速度を大きく左右する転送時間が短くなり、さらに大量のタイルを扱うことが多い地図タイルサーバにおけるディスクストレージを節約できる。第 2 に、バイナリ形式と比べて、画像形式という一般的なフォーマットをベースとしているため、クライアント側で別途パーサを用意する必要はなく、処理の基本的な部分は OS や Web ブラウザが行うので、前節の OpenLayers のように Web で一般的に利用される記述を使って処理できる。第 3 に、csv、バイナリ形式に比べた利点として、画像形式であるので人間によるある程度の視認性があり、タイル作成時や利用アプリケーション作成時

に人間が扱いやすいという点があげられる。例えば、開発中の Web アプリケーションにおいて PNG 標高タイルの座標指定方法に問題があった場合、それを実際に表示させてみると海岸線の形状などから座標指定の問題であることが発見できる場合がある。このような視認性は軽視されがちだが、開発効率を上げるために重要であり、技術の進歩が速く、開発テンポが速い Web アプリケーションでは特に有効である。

5.2. PNG 標高タイルの欠点

PNG 標高タイルの欠点としては、まず第1にバイナリ形式に比べて、PNG 固有のヘッダ部などが存在するため、若干ファイルサイズが大きくなるという点があげられる。ただし、本体に比べてヘッダ部分は小さく、また PNG の圧縮が2次元データに適しているためそれほど大きな問題にはならないと思われる。第2の欠点としては、本来表示・印刷するための画像フォーマットに数値データを埋め込んでいるため、種々のツールで直接扱うことができず、またネットワーク転送時やより過程で問題を起こす可能性がある。例えば、ネットワーク負荷を軽減するためにプロバイダが非可逆圧縮をかける場合あり、その場合データを復元することができなくなる。この例の場合、png をいったん zip 圧縮して転送するなどすれば回避できるが、将来的にはブラウザ、サーバ、プロバイダ間でコンテンツのフォーマットに関して適切な調整が行われることが望ましい。

5.3. アプリケーション利用における検証

5.3.1. 日本シームレス地質図標高取得機能

地理座標を指定して標高値を取得する Web API サービスは現在様々な機関から提供されている。例えば、国土地理院は5m DEM レーザ測量、5m DEM 写真測量、10mDEM 等高線から得られた標高値を、「標高API」として提供している(国土地理院, 2015c)。通常これらは、1地点のデータ取得毎にサーバとクライアントの間に通信が発生する。一方、我々がシームレス地質図で実装した手法は、通信はタイルごとに発生する。近傍の複数の点を取得する際にはそれが同一タイル内にあればタイルをサーバに要求する必要がなく、アクセスを効率的に行える。このため、ユーザのマウスの動きに合わせてリアルタイムに標高値の表示を変更させることもできる。この方法の利点としては、ユーザにクリックさせる動作を省略でき操作性を向上させることができること、クリックを別の用途に割り当てられることも含めてユーザインターフェイスの自由度が広がること、ユーザが複数の標高値を要求するような状況ではサーバへの負荷も軽減できることがあげられる。なお、シームレス標高サービス(仮称)では、地理座標を指定してタイルから標高値を取り出すプログラムをサーバ側で動作させ、従来型の標高APIも提供している。

5.3.2. 浸水シミュレーション

イギリスの Alex Tingle 氏は、前述の浸水シミュレーションと同様に、全世界において水位を指定して浸水域を描画する Web サイトを公開している(Tingle, 2015)。ただし、この Web サイトでは指定できる水位が0~60m までの15段階に限定されており、位置分解能もズームレベル10程度(約150m)までである。恐らくこのサイトではあらかじめ水位ごとに描画したタイルを使用しているものと思われる。一方、PNG 標高タイルを利用した浸水シミュレーションでは、ユーザは任意に水位を指定でき、位置分解能はズームレベル13程度(約20m)である。これは、クライアントの JavaScript で描画をおこなっているため、必要になるのは標高タイルのみでサーバ側には水位ごとのタイルはもとより、浸水用の専用のタイルすら用意する必要がないためである。サーバストレージの使用量が抑えられることは、より高密度の標高データを扱える可能性を広げる。さらにあらかじめレンダリングする必要がないため、新しい標高データセットへの対応も容易である。

7. おわりに

本研究では、Web における標高データの利活用促進のために新たに PNG 標高タイルフォーマットを考案した。また、実際に運用されている Web アプリケーションで検証を行い、その有効性を明らかにすることができた。

本研究に不可欠である原データの取得にあたっては、国土地理院地理空間情報部情報普及課藤村英範氏にご協力をいただいた。PNG 標高タイルの仕様検討は終了しており、ここで示したアプリケーション以外でも実装検証で良い結果を得ている。今後国土地理院から正式公開されれば、様々なアプリケーションで活用されるであろう。標高データが身近に使いやすい時代の幕開けを期待したい。

文 献

- 地球観測研究センター (2015) 全球高精度デジタル 3D 地図 (ALOS World 3D). <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/aw3d/> (参照: 2015/9/29).
- 地質調査総合センター (2015) 20 万分の 1 日本シームレス地質図. <https://gbank.gsj.jp/seamless/> (参照: 2015/9/29).
- 国土地理院 (2015a) 基盤地図情報 ダウンロードサービス. <http://fgd.gsi.go.jp/download/> (参照: 2015/9/29).
- 国土地理院 (2015b) 地理院タイルを用いた開発 > 地理院タイル一覧. <http://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html> (参照: 2015/9/29).
- 国土地理院 (2015c) 地理院タイルを用いた開発 > 標高 API. <http://maps.gsi.go.jp/development/api.html> (参照: 2015/9/29).
- 国土地理院 (2015d) 地理院タイルを用いた開発 > 地理院タイル仕様. <http://maps.gsi.go.jp/development/siyu.html> (参照: 2015/9/29).
- 小清水寛・高桑紀之 (2013) WEB ブラウザ上での表示に

適した配信地図データの作成方法とその応用. 国土地理
院時報, no.123, pp.105-115.

宇宙システム開発利用推進機構 (2015) ASTER 全球 3 次元
地形データ. <http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/J/>

Tingle, A. (1015) Flood Maps. <http://flood.firetree.net/> (参照 :
2015/9/29).

(参照 : 2015/9/29).

要 旨

PNG 標高タイル —Web に適した標高ファイルフォーマットの考案と実装—

西岡 芳晴・長津 樹理

標高データが直接表現するものは地形であるが、地形の形成は地質学的な要因に大きく支配されるため、標高データから地質に関する情報を読み取ることができる。近年の科学技術の進歩に伴い、様々な範囲、精度の標高データが入手できる時代となったが、Web 利用という観点から見た場合、近年の対話的な Web サイト利用ではほとんど活用が進んでいない。我々は、標高データの利活用促進のために、Web 上で高速に扱うためのフォーマットとして PNG 標高タイルを考案、それを提供するテストサービスを構築した。さらに、日本シームレス地質図の標高取得機能で利用し、またテスト Web アプリケーションとして浸水シミュレーションを作成した。これらの利用を通じて、高速で対話的な Web アプリケーションを構築することが可能であることが示され、PNG 標高タイルの有効性を実証できた。

キーワード：標高, PNG, JavaScript, 3D, タイル

付録 A. PNG 標高タイルから標高値を抽出する JavaScript 関数

```

function getElevation (level,ido,keido,callback) {
    // ido, keido をラジアンに変換する
    var lat2 = ido/360*Math.PI*2;
    var lng2 = keido/360*Math.PI*2;
    // Web メルカトルに変換し作業用変数 xrad, yrad を求める
    var yrad = Math.log (Math.tan (Math.PI/4 + lat2/2));
    var xrad = lng2 + Math.PI;
    // 座標 (赤道の長さを 1, 原点を移動) を求める
    var x2 = xrad/(Math.PI*2)*Math.pow (2, level);
    var y2 = (Math.PI - yrad)/(Math.PI*2)*Math.pow (2, level);
    // ズームレベルが z の時の x, y, i, j を求める
    var x = Math.floor (x2);
    var i = Math.floor (x2*256 - x*256);
    var y = Math.floor (y2);
    var j = Math.floor (y2*256 - y*256);

    // PNG 標高タイルを描画するための canvas を用意する
    var canvas = document.createElement ('canvas');
    canvas.width = 256;
    canvas.height = 256;

    var img = new Image ();
    img.onload = function () {
        // canvas に描画し, 当該位置の RGB 値を取得する
        var context = this.parentNode.getContext ('2d');
        context.drawImage (this, 0, 0, canvas.width, canvas.height);
        var imagedata = context.getImageData (i, j, 1, 1);
        var rgb = Array.prototype.slice.apply (imagedata.data);
        var rgb_r = rgb[0];
        var rgb_g = rgb[1];
        var rgb_b = rgb[2];
        // RGB 値から標高値を求める
        var hyoko = parseInt (rgb_r * 256 * 256 + rgb_g * 256 + rgb_b);

        if (hyoko >= 8388608) {
            hyoko -= 16777216;
        }
        callback (hyoko);
    }
    img.src = "http://gsj-seamless.jp/labs/elev/elev/" + level + "/" + parseInt (y) + "/"
        + parseInt (x) + ".png";
};

```


付録 B. OpenLayers で filter メソッドをオーバーライドする部分の抜粋

```
filter: function (canvas){ // 元画像が描かれている canvas を加工する
    // canvas から画像データを取得
    var px = canvas.getContext ('2d').getImageData (0, 0,
        canvas.width, canvas.height);

    // すべてのピクセルをループ
    for (var y = 0, hw = canvas.height*canvas.width; y < hw; y++){
        // 標高値に変換
        var h = px.data[ y*4 ] * 256 * 256 + px.data[ y*4+1 ] * 256 + px.data[ y*4+2 ];
        var hyoko = (h < 256*256*128)? h : h - 256*256*256;
        if (hyoko/100 > flooded){
            px.data[ y * 4 + 3 ] = 0; // 標高が閾値より上なら不透明度0 (透明に)
        }else{
            px.data.set ([0,0,255], y*4); // 標高が閾値以下なら青く塗色
        }
    }
    canvas.getContext ('2d').putImageData (px, 0, 0);
},
```

付録 C. 作成した ShinsuiMapTile を OpenLayers で利用する部分の抜粋

```
// シームレス標高サービス URL
var server_elev = 'http://gsj-seamless.jp/labs/elev/elev/';
// OpenLayers.Layer.XYZ オブジェクトとして生成
// ただし、 tileClass には作成した ShinsuiMapTile を指定
shinsuiMap = new OpenLayers.Layer.XYZ ( 'Shinsui Map',
    server_elev + '${z}/${y}/${x}.png',
    { opacity: 0.6, isBaseLayer: false, tileClass: ShinsuiMapTile, transitionEffect: null }
)
// map オブジェクトに追加
map.addLayers (tintsMap);
```