

II-17

正規化植生指標と地表面温度を用いた
広域蒸発散量の推定

北見工業大学大学院

魏 永芬

北見工業大学工学部

正 員

佐渡 公明

北見工業大学工学部

正 員

中尾 隆志

1. まえがき

近年、世界的に広い範囲において水需給関係はいよいよ逼迫の度を加え、水資源問題はますます切実なこととなっている。この問題は水需要と水供給の相対的關係によって発生するが、供給量を支配するのは基本的には河川の流出量であり、高水、低水を問わず流出量をいかに精度よく推定するかが重要であると思われる。この問題に対処するためには、流出量のみに着目するのではなく、降水、流出、蒸発散という水循環の中で各要素を考慮していく必要がある。降水と流出の関係は、洪水解析を中心に古くから数多くの研究が行われてきた。しかし、流域規模の蒸発散に関する研究は、十分に行われていない。本研究は、現在広く利用されているリモートセンシングデータを用いて、広い地域及び種々の土地被覆に適用できる蒸発散量の推定を行い、その結果について報告する。

2. ラントサットTMデータによる正規化植生指標(NVI)と地表面温度の算定

2.1 解析対象：1989年5月19日観測の北見市を含む北海道東部地域のフルシーンから対象地域の北見市を切り出す。それは北緯43°48'、東経143°54'を中心とした約14km×11kmの範囲であり、7バンド分の容量は1MBのフロッピーディスク2枚に格納され、ディスプレイに表示すると512Pixel×400Line画像になる。次に、地形図のように輪郭が東西、南北方向に一致させるために、この画像をアフィン変換式より幾何補正した。地形図適合の新画像の四隅の緯度、経度は左上N43°51'00"、E143°48'30"、左下N43°45'50"、E143°48'30"、右上N43°51'00"、E143°57'30"、右下N43°45'50"、E143°57'30"である。面積は12km×9.5kmで、ディスプレイ上では400Pixel×320Lineである。

2.2 NVIの算出：NVI(Normalized Vegetation Index)は植物が電磁波エネルギーの可視域で吸収が強く、近赤外線域で反射が強いという現象に基づいて、地球観測衛星からのデータを用いて、簡単な計算で植物の活力度や土地被覆を把握することを目的として考案された指標の一つで、次式で計算される。

$$NVI = (NIR - VIR) / (NIR + VIR) \dots\dots (1)$$

ここで、NIRは近赤外線域(バンド4)の値、VIRは可視域(バンド3)の値を取る。この式より得られるNVI値の範囲は-1~1である。

2.3 地表面温度の計算：TMバンド6は温度を検知出来るので熱バンドと呼ばれ、輝度値は物質から放射される遠赤外線域の波長帯で、0~255の256段階のデジタル値で表す。バンド6輝度のデジタル値から温度変換する式がNASAから公示されているが、実際にはパスラジアンズ、放射率を考慮しなければならないので、そのまま輝度値をその式に用いると実際とは違う温度が出ることになる。そのため、ランドトゥールースによる実測の地表面温度(圃場8ヶ所、水域2ヶ所)を用いて、温度とバンド6輝度値について次の変換式

Estimation of Evapotranspiration in Large Areas Using Normalized Vegetation Index and Ground Surface Temperature

by Yongfen WEI, Kimiteru SADO and Takashi NAKAO

を算出した。

$$T = -22.49 + 0.2643 V \quad \dots\dots (2)$$

ここで、T: 地表面温度 (°C) V: TMバンド6の輝度値

3. Morton式による蒸発散量の算定

蒸発散量の算定の対象は北見市で、ディスプレイ上400×320=128,000個画素がある。まず、10×10=100画素を1メッシュとし、1メッシュの中心の標高を地形図から読み取って、この値をそのメッシュ内の100画素の標高として定義した。そして、北見、境野、北見大和のアメダス観測所のデータを用いて、1976-1988の13年間の月平均データにより標高に対する月平均気温、風速、水蒸気圧の回帰直線を求め、さらに月平均の気圧、全天日射量、雲量、アルベドの推定値を求め、Morton式によって、1画素毎に蒸発散量を算定した。

4. TMデータによる蒸発散量の推定

入手されたデータを十分に利用するために、今回は単回帰分析と重回帰分析の視点から、次のA～Dのそれぞれの場合において 1) 蒸発散量とNVIの単回帰 2) 蒸発散量と温度の単回帰 3) 蒸発散量に対するNVIと温度の重回帰 4) 蒸発散量に対するNVI、温度、バンド1～3の平均値の重回帰 5) 蒸発散量に対する7バンド（バンド1～バンド7）の重回帰関係を調べた。

- A: 北見市内の1画素毎に蒸発散量、NVI、温度、バンド1～3の平均値及び7バンドのデータを考慮した場合
- B: 10×10=100画素を1メッシュとし、100画素のデータ（蒸発散量、NVI、温度、バンド1～3の平均値及び7バンド）の平均値をこのメッシュの値として、全メッシュを考慮した場合
- C: 次のDで計算された各カテゴリーのデータを合計する場合
- D: 教師データ付き分類手法により得られた北見市の土地被覆分類データを用いて、この1メッシュ内に含まれているあるカテゴリー別のデータ（蒸発散量、NVI、温度、バンド1～3の平均値及び7バンド）を平均して、得られた値をこのメッシュ内のそのカテゴリーの値をとって、全メッシュを考慮した場合

結果は図1、2、表1、2、3に表示する（表1、2、3中、E:蒸発散量、N:NVI、T:温度、B:バンド1～3輝度値の平均値、B1～B7:バンド1～7の各バンドの輝度値を示す）。

図1、2と表1を見ると、1) A、B、Cの場合における蒸発散量とNVIの関係は正の相関となって、相関係数は0.6983, 0.8656, 0.6098であり、Bにおいて相関係数が一番大きい。一方、蒸発散量と温度との間

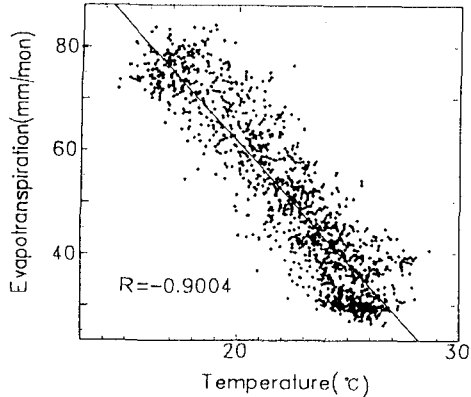


図1 蒸発散量と地表面温度の相関(データ数:1,277)

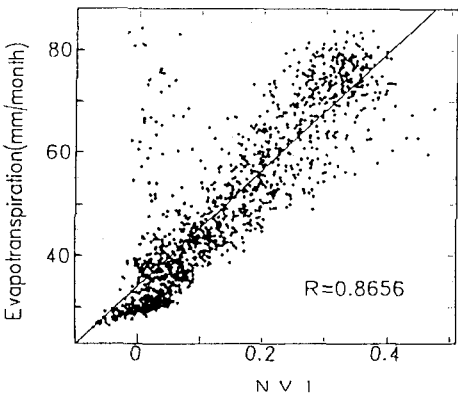


図2 蒸発散量とNVIの相関(データ数:1,277)

表1 蒸発散量とN V I 及び蒸発散量と温度の単回帰分析

		データ数	相関係数	回 帰 直 線	相関係数	回 帰 直 線
A		115864	0.6983	$E = 94.226N + 36.975$	-0.7371	$E = -4.616T + 153.668$
B		1277	0.8656	$E = 114.011N + 33.984$	-0.9004	$E = -4.674T + 154.986$
C		5371	0.6098	$E = 75.321N + 38.584$	-0.5647	$E = -4.433T + 150.677$
D	市街地	843	-0.0352	$E = -0.949N + 24.204$	0.1704	$E = 0.057T + 22.513$
	住宅地	1138	-0.1121	$E = -2.412N + 30.223$	0.2486	$E = 0.097T + 27.769$
	草 地	364	0.0240	$E = 0.757N + 64.609$	0.2029	$E = 0.281T + 59.112$
	水 田	226	-0.5453	$E = -39.457N + 88.915$	0.4243	$E = 0.721T + 74.583$
	森 林	1070	-0.0880	$E = -3.304N + 78.829$	0.3432	$E = 0.379T + 70.241$
	裸 地	995	-0.0380	$E = -0.659N + 39.589$	0.1038	$E = 0.029T + 38.854$
	畑	735	0.0152	$E = 0.977N + 64.377$	0.2436	$E = 0.280T + 58.884$

表2 蒸発散量に対するN V I、温度及び蒸発散量に対するN V I、温度、バンド1～3の平均値の重回帰分析

		データ数	重相関係数	重 回 帰 方 程 式	重相関係数	重 回 帰 方 程 式
A		115864	0.7814	$E = 48.664N - 3.048T + 111.645$	0.8110	$E = 24.179N - 1.952T - 0.685B + 136.068$
B		1277	0.9205	$E = 46.189N - 3.172T + 114.729$	0.9331	$E = 30.928N - 1.872T - 0.649B + 131.020$
C		5371	0.6676	$E = 52.901N - 2.566T + 100.229$	0.7980	$E = 3.341N - 0.455T - 1.367B + 151.894$
D	市街地	843	0.1720	$E = -0.539N + 0.056T + 22.820$	0.2154	$E = 2.204N + 0.056T + 0.042B + 19.564$
	住宅地	1138	0.2583	$E = 2.002N + 0.121T + 27.073$	0.2590	$E = 1.789N + 0.125T - 0.009B + 27.630$
	草 地	364	0.2135	$E = 2.143N + 0.300T + 57.678$	0.2146	$E = 3.507N + 0.297T + 0.033B + 55.253$
	水 田	226	0.5895	$E = -32.396N + 0.417T + 80.506$	0.5935	$E = -31.713N + 0.372T + 0.132B + 74.581$
	森 林	1070	0.3541	$E = 3.423N + 0.431T + 68.332$	0.3681	$E = 4.868N + 0.282T + 0.159B + 62.137$
	裸 地	995	0.1047	$E = 0.288N + 0.032T + 33.802$	0.1265	$E = 1.349N + 0.030T + 0.011B + 37.927$
	畑	735	0.2492	$E = 3.416N + 0.289T + 57.265$	0.2506	$E = 5.793N + 0.278T + 0.049B + 53.807$

表3 蒸発散量に対する7バンド（バンド1～7）の重回帰分析

		データ数	重相関係数	重 回 帰 方 程 式
A		115864	0.8244	$E = -1.229B1 + 0.408B2 + 0.170B3 + 0.080B4 + 0.031B5 - 0.367B6 - 0.211B7 + 208.499$
B		1277	0.9528	$E = -1.559B1 - 0.464B2 + 0.963B3 + 0.044B4 + 0.121B5 - 0.247B6 - 0.417B7 + 220.685$
C		5371	0.8225	$E = -1.978B1 + 2.945B2 - 0.864B3 - 0.118B4 - 0.089B5 + 0.145B6 - 0.160B7 + 164.229$
D	市街地	843	0.2717	$E = 0.004B1 + 0.058B2 - 0.049B3 - 0.003B4 + 0.003B5 + 0.013B6 - 0.002B7 + 21.706$
	住宅地	1138	0.3366	$E = 0.077B1 - 0.092B2 - 0.069B3 + 0.048B4 - 0.018B5 + 0.021B6 + 0.032B7 + 23.918$
	草 地	364	0.2325	$E = 0.162B1 - 0.068B2 - 0.076B3 + 0.006B4 - 0.010B5 + 0.067B6 + 0.019B7 + 45.282$
	水 田	226	0.6317	$E = 0.441B1 + 0.098B2 + 0.078B3 - 0.343B4 - 0.066B5 + 0.151B6 + 0.039B7 + 36.249$
	森 林	1070	0.3883	$E = 0.231B1 + 0.190B2 - 0.206B3 + 0.044B4 - 0.019B5 + 0.067B6 + 0.021B7 + 46.395$
	裸 地	995	0.1800	$E = 0.000B1 + 0.066B2 - 0.042B3 + 0.001B4 + 0.003B5 + 0.007B6 + 0.000B7 + 37.203$
	畑	735	0.2690	$E = 0.136B1 - 0.239B2 + 0.021B3 + 0.031B4 - 0.023B5 + 0.048B6 + 0.047B7 + 50.707$

は負の相関となっている、相関係数は-0.731、-0.9004、-0.5647であり、やはりBにおける相関係数が一番大きい。2) カテゴリー別に見たDの場合は、蒸発散量とNVIは負の相関(水田等)及び非常に小さい相関となり、一方、蒸発散量と温度はほとんど正の相関(相関係数が一番大きいのは水田である)となっている。二つの現象はほぼ逆である。植生の活力度から考えるとA、B、Cの相関が妥当であり、Dの逆の相関は全体の中で局部的にしか見ていないためと思われる。

重回帰について、重相関係数と分散分析から次のことが分かった。1) A、B、Cの場合における、蒸発散量に対するNVI、温度；蒸発散量に対するNVI、温度、バンド1～3の平均値及び蒸発散量に対する7バンドの重回帰係数はそれぞれ 0.7841、0.9205、0.6676、0.8110、0.9331、0.7980、0.8244、0.9528、0.8225であり、いずれの場合もBの重回帰係数が一番大きいので、Bの重回帰モデルが最も良いモデルと思われる。2) いずれの場合も $F \geq F_{\alpha-p-1}(\alpha)$ (n :データ数、 p :説明変数の個数、 α :有意水準、今回は $\alpha = 1, 5$ の2つの値を取った) が成り立つので、全ての回帰は有意で、それぞれの場合の変数は、全体として蒸発散量(E)の予測に役立っていると判断できる。

5. 結 論

本論文では北見市を対象にランドサットTMデータのみを用いた広域蒸発散量の推定を行った、得られた結果をまとめると次のようになる。

1. 上述の1)～5)の5つの回帰関係中、相関係数の大小は5)、4)、3)、2)または1)の順であり、一番良い相関は蒸発散量と7バンドの重回帰モデルである。
2. データ数が最も少ないBの場合が、5つの回帰モデル全てにおいて相関が最も良い。
3. カテゴリー別に見ると、水田における相関が一番良い。

6. あとがき

ランドサットTMデータを用いた蒸発散量推定について、今後まだ様々な問題点がある。今回の解析に使用したデータが5月ということもあってNVI、温度共にやや低いので、夏期のデータを用いるのが良いと思われる。また、蒸発散量のデータは5月の平均値であるので、観測日の5月19日のデータを採用すればよりよい結果が出ると思う。さらに北見市のカテゴリー別の蒸発散量を正確に推定するために、土地被覆分類の結果をグランドトゥールズによって、検証する必要がある。そして、解析対象の異なるところで(例えば、常呂川流域)の蒸発散量を推定し、比較検討を行いたいと思っている。

<参考文献>

1. 日本リモートセンシング学会出版委員会：リモートセンシングデータ解析，啓学出版社，1989.
2. 佐渡公明：広域蒸発散量に及ぼす土地被覆の影響について，土木学会北海道支部論文報告集，No. 49，pp. 623～628，1993.
3. 田中豊他：パソコン統計解析ハンドブック II 多変量解析編，共立出版，昭和59年.
4. 田代嘉宏他：確率と統計要論，応用数学要論シリーズ2，森北出版，平成3年.
5. 大槻恭一他：計器蒸発量、蒸発散位と実蒸発散量の関係—実蒸発散量推定に関する研究(I)—，農業論集，No. 111，pp. 95～103，1984.
6. 谷島哲男他：LANDSAT/TMデータを用いて道東4都市における河川と緑地緩和作用について，土木学会北海道支部論文報告集，No. 49，pp. 529～564，1993.