

II-14

常呂川・網走川流域の蒸発散量年変化の比較

北見工業大学大学院 学生員 根田 聖児
 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. はじめに

水は他の燃料資源と違い再利用が可能な循環資源である。したがって、水資源計画においては、循環している過程の水をいかに有効利用し、保全するかが重要な課題となっている。この問題に対処するためには、降水・流出・蒸発散という水循環過程の各要素を考慮しなければならない。従来水文学の分野において、降水・流出の関係は古くから研究が多く行われていたのに対し、蒸発散の研究はそれほど活発ではなかった。しかし、近年の急速なリモートセンシングの発達により蒸発散の研究は最近活発に見られるようになった。また、広域蒸発散については最近の地球温暖化との関連で今後益々重要になってくるものと思われる。^{4), 5)}

本論文は、ランドサットTMデータと国土数値情報標高メッシュデータを用いて、常呂川・網走川流域を対象に流域規模の広域の月蒸発散量を推定するものである。まず、ランドサットTMデータ(1989.5.19観測)と国土数値情報標高メッシュデータとを重ね合わせ、これらから両流域を切り出し、250×250mを1画素とする両流域の衛星及び標高画像を求める。次に常呂川・網走川流域の土地被覆分類と月平均気象資料を用い、積雪期、非積雪期ともにMorton式¹⁾を適用して、月蒸発散量の平均値と標準偏差を求め両流域の蒸発散量年変化を推定する。最後に、この両流域の蒸発散量年変化、水収支の年変化の比較、及び常呂川・網走川流域の蒸発散量年変化に対する土地被覆分類カテゴリーの影響、土地開発、地球温暖化に伴う気温上昇の影響を検討する。

2. ランドサットTMデータと国土数値情報標高メッシュデータとの重ね合わせ

2. 1 TM画像と標高画像の重ね合わせ

ランドサット5号の場合、常呂川・網走川流域はパス106、ロー29のサブシーンCとD、パス106、ロー30のフルシーンに含まれている。これらから間引き率4で両流域が入るような(常呂川流域の場合は5枚、網走川流域の場合は6枚)画像に分けて切り出した。さらに、これらの画像を間引き率2で間引き1枚の画像(512 pixel×400line)に合成した。結局、常呂川・網走川流域についての間引き率8の両流域を含む画像がそれぞれ1枚ずつ得られた。次に、ランドサットTMデータ解析用ソフトRemotol0²⁾を用いて地形図と一致するように、真北が真上にくるようにアフィン変換による幾何補正を行った。この時、国土数値情報250mメッシュの標高画像と重ね合わせができるように4隅の値を決め、1画素が東西 11.25"、南北 7.5"となるようなリサンプリング画像(400pixel×320line)をニアレストネイバー法により求めた。この結果、ランドサットTMデータと国土数値情報標高メッシュデータが1対1で対応したことになる。

2. 2 常呂川・網走川流域の切り出し

2. 1で得られたそれぞれの画像に、デジタイザーを用いて読み込んだ常呂川・網走川流域の分水界をアフィン変換後に画像上に描かせることにより、1画素を250×250mとする両流域のランドサットTM画像及び標高画像を求めた。このとき、TMデータは流域外の輝度値を0とし、標高データは流域外の標高を負としている。

Comparison of Annual Changes of Evapotranspiration in Tokoro and Abasiri River Basin
 by Seiji KONTA, Kimiteru SADO and Takasi NAKAO

3. 常呂川流域の土地被覆分類

土地被覆分類は、Remoto10を用いて行ったが、手法は、教師データ付き分類手法と教師データなし分類手法に大別され、さらに教師データ付き分類手法は、セル法、最短距離法、最尤法の3つに分けられる。今回は、教師データ付き分類手法の中でも最も簡単なセル分類法を用いて行った。重複部分については最短距離のカテゴリーに分類してある。分類項目は、市街地、住宅地、草地、水田、畑、裸地、森林、水域、雪の9種類である。この分類項目のどれにも分類されない場合は未分類として分類しており、常呂川流域で約8%、網走川流域で約4%となっている。表1, 2がその結果であるが、観測日が5月19日のため常呂川、網走川の両流域ともに上流山間部の標高の高い部分で雪がそれぞれ0.92%, 0.57%と存在しているが、この雪の部分は国土数値情報の植生分布データから融雪後には森林と明らかに判断できることから、後の月蒸発散量の計算のときにはいったん森林として計算している。面積の割合は、常呂川流域の場合、森林が最も多く流域の56%を占めている。次に多いのは草地、畑の順となっている。同様に、網走川流域においても、森林が最も多く流域の42%を占めている。次に多いのは草地、畑の順となっている。また、市街地と住宅地を合わせても常呂川流域で約4.0%、網走川流域で5.5%と少なく、森林と草地を合わせると常呂川流域で79%、網走川流域で81%とかなり大きな数字となっている。これより、流域内にまだまだ開発の余地があることがうかがえる。

表1 常呂川流域における標高別土地被覆分類

標高(m)	市街地	住宅地	草地	水田	畑	裸地	森林	水域	雪	未分類	合計	割合(%)
1000以上	0	0	181	0	0	3	338	0	246	224	1012	2.98
800-1000	0	0	322	0	0	0	1868	0	61	185	2436	7.16
700-800	0	0	131	0	0	1	1920	0	6	47	2105	6.19
600-700	0	0	167	0	0	0	2122	2	1	37	2329	6.85
500-600	0	0	293	0	1	0	2367	11	0	47	2719	8.00
450-500	0	0	289	0	6	0	1369	4	0	65	1733	5.10
400-450	0	0	398	0	12	6	1449	5	0	144	2014	5.92
350-400	0	3	477	0	43	23	1426	0	0	154	2126	6.25
300-350	0	14	554	0	102	44	1233	2	0	163	2112	6.21
250-300	4	39	664	0	123	26	1132	0	0	158	2146	6.31
200-250	5	105	1005	3	277	52	1160	0	0	260	2867	8.43
150-200	3	215	1093	2	381	72	1170	1	0	356	3293	9.68
100-150	9	361	1106	37	520	87	864	1	0	401	3386	9.96
50-100	60	412	726	28	446	71	439	1	0	309	2492	7.33
0-50	6	131	407	43	197	40	200	0	0	209	1233	3.63
合計	87	1280	7813	113	2108	425	19057	27	314	2779	34003	100.00
割合(%)	0.26	3.76	22.98	0.33	6.20	1.25	56.05	0.08	0.92	8.17	100.00	

表2 網走川流域における標高別土地被覆分類

標高(m)	市街地	住宅地	草地	水田	畑	裸地	森林	水域	雪	未分類	合計	割合(%)
900-1000	0	0	41	0	0	0	4	0	10	67	60	0.24
800-900	0	0	182	0	0	0	24	0	49	48	274	1.12
700-800	0	0	330	0	0	0	131	0	81	39	613	2.50
600-700	0	0	336	0	0	0	433	0	0	54	850	3.46
500-600	0	0	341	0	0	0	759	0	0	63	1161	4.73
450-500	0	0	238	0	10	0	649	0	0	121	931	3.79
400-450	0	0	332	0	21	0	941	0	0	135	1374	5.60
350-400	0	0	452	0	8	0	1334	0	0	105	1899	7.74
300-350	0	11	665	0	7	2	1438	3	0	80	2261	9.21
250-300	0	36	754	0	35	5	1241	14	0	34	2206	8.99
200-250	32	39	784	6	26	5	1017	2	0	61	1974	8.05
150-200	34	80	978	7	92	10	943	1	0	81	2199	8.96
100-150	39	176	1183	9	203	25	760	0	0	71	2434	9.92
50-100	61	335	1488	27	426	58	471	1	0	19	2915	11.88
0-50	76	421	1429	169	426	60	219	522	0	5	3389	13.81
合計	242	1098	9533	218	1254	165	10364	543	140	983	24540	100.00
割合(%)	0.99	4.47	38.85	0.89	5.11	0.67	42.23	2.21	0.57	4.01	100.00	

4. 常呂川・網走川流域の蒸発散量年変化の推定

4. 1 月平均気象データ

常呂川流域の場合は、4ヶ所のアメダス観測所－常呂（標高H=4m）、北見（H=84m）、境野（H=190m）、北見大和（H=325m）－の1976～'88(13年間)と鹿の子ダム管理所（H=460.5m）の1984～'88(5年間)の月平均気象データ、また、網走川流域の場合は、気象官署－網走（H=38m）－の1951～'80（30年間）と2ヶ所のアメダス観測所－北見福住（H=60m）、津別（H=125m）－の1976～'88（13年間）、常呂川流域の鹿の子ダム管理所を用いて、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、1画素ごとの月平均気温、風速、水蒸気圧をそれぞれ推定することにした。月平均気圧は海面気圧と標高による推定式により求めた。月平均の全天日射量と雲量は北見アメダスの日照率を用いて推定し、雲量、水平面全天日射量は両流域全体で一定とし、1/2画素（1画素を対角線で分割）ごとに斜面日射量を求めた。月平均アルベドについては、北見工業大学寒地気象観測システムの露場における実測値を草地に対するアルベドとし、その他のカテゴリーに対するアルベドは草地を1とする比率よりそれぞれ決定した。²⁾ 月別流域平均降水量は、1976～'88(13年間)のデータからティーセン法を用いて常呂川流域の年平均降水量は758mm、網走川流域の年平均降水量は744mmと求めた。

4. 2 月蒸発散量の推定

1画素ごとの蒸発散量の算定には、積雪期（月平均気温が負となったとき積雪ありとする）、非積雪期ともに補完関係式の1つであるMorton式を用いて行った。市街地、住宅地の場合には草地に相当する浸透面積が蒸発散量に大きく影響するため、本研究では植物の活力度を表すNDVI(正規化植生指標)から浸透面積を算出した。このとき、草地のNDVIを100とすると、市街地、住宅地のNDVIはそれぞれ31, 41である。そこで、市街地には草地相当の浸透面積が31%含まれ、残りの69%が不浸透面とし、同様に、住宅地の場合は浸透面、不浸透面をそれぞれ41%, 59%と仮定することにした。不浸透面の流出率は、0.9と仮定した。⁸⁾

図-1, 2は両流域における土地被覆別の蒸発散量年変化を、月蒸発散量の平均値を用いて表している。両者とも雪を除いてほぼ対象な形をしており、アルベドの小さい市街地、住宅地が極端に蒸発散量が小さいことがわかる。また、雪のカテゴリーで負の蒸発散量がでてきているが、これは、地表面の温度と気温との差が大きいため凝結したものと思われる。ここには載せていないが、カテゴリーごとの標準偏差を取ると、夏期に草地と森林の値が特に大きく、これは夏期における植物の活力度の度合いが大きいためと思われる。

図-3は常呂川流域における月蒸発散量の平均値と標準偏差の相関図であるが、これより平均値と標準偏差は正の相関を示し、平均値が大きいほど標準偏差も大きくなること分かる。網走川流域におい

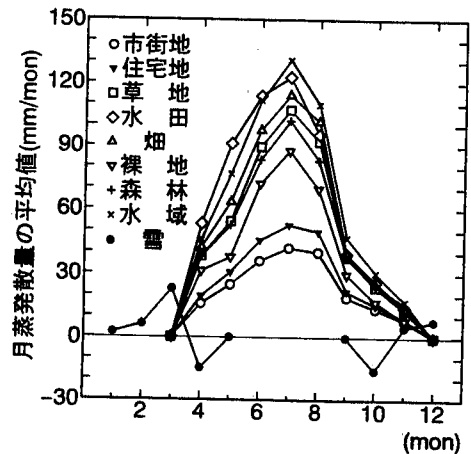


図-1 常呂川流域における土地被覆別の蒸発散量年変化

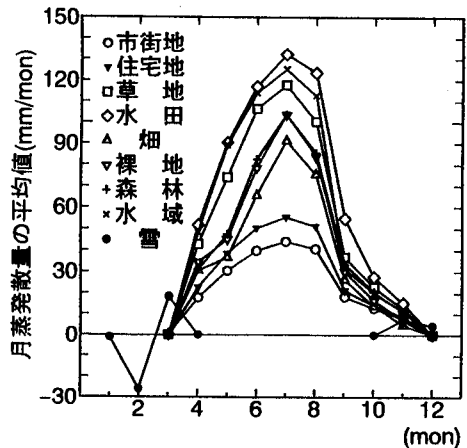


図-2 網走川流域における土地被覆別の蒸発散量年変化

でも同様の結果が得られている。

図-4, 5は両流域の蒸発散量年変化に対する土地開発の影響を示している。表3より、仮に常呂川流域が開発される前(草地, 水域以外の全画素が森林)であったとすると、年蒸発散量が現在より23.0mm増え、流出率は現状より3.0%小さかったと予想される。逆に、宅地造成後(市街地, 水域以外の全画素が住宅地)を仮定すると現状に比べて不浸透域が増え、年蒸発散量が223.6mm減り、流出率は29.5%増えると予想される。同様に網走川流域では、流出率が現状より開発前で1.9%小さく、宅地造成後で27.0%の増加と予想される。ここで、年降水量は常呂川流域で758mm/yr、網走川流域で744mm/yrとなっている。これより、蒸発散量は土地開発の影響を受けているということが分かる。逆にいうと、蒸発散量と土地開発の度合いの関係は反比例の関係にあり、蒸発散量で土地開発の度合いを表すことができると考えられる。したがって、土地開発の度合いを宅地造成後を100%、開発前を0%とすると、常呂川流域は約9.3%、網走川流域は約6.5%となり、ほとんど開発されていないことになる。標準偏差については図は省略するが、開発前では、両流域とも現状とほぼ同じ値となっている。宅地造成後は、標準偏差の大きい森林、草地在標準偏差の小さい住宅地に大半かわるので、両流域とも現状と比べ標準偏差はかなり減少している。

図-6は、常呂川流域の r (月平均降水量), q (月平均流出高), $q + E$ (月平均流出高 + 月平均蒸発散量)を表したものであるが、春期には冬期に積雪として貯留された降水が大量の融雪水として流出していることが良く分かる。また、夏期には降水量より蒸発散量の方がかなり多く流出高が減り、渇水

表3 両流域の年蒸発散量、及び流出率

	年蒸発散量 (mm/yr)	流出率 (%)
常呂川流域		
開発前	488.1	35.6
現状	465.1	38.6
宅地造成	241.5	68.1
網走川流域		
開発前	458.7	38.3
現状	444.8	40.2
宅地造成	243.8	67.2

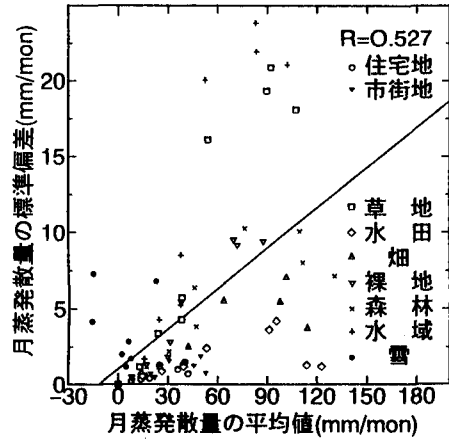


図-3 常呂川流域における
月蒸発散量の平均値と標準偏差の相関図

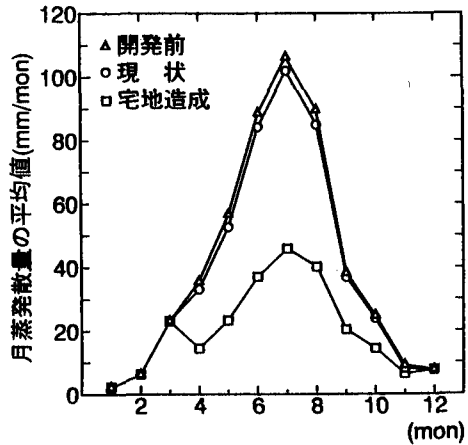


図-4 常呂川流域における
蒸発散量年変化に対する土地開発の影響

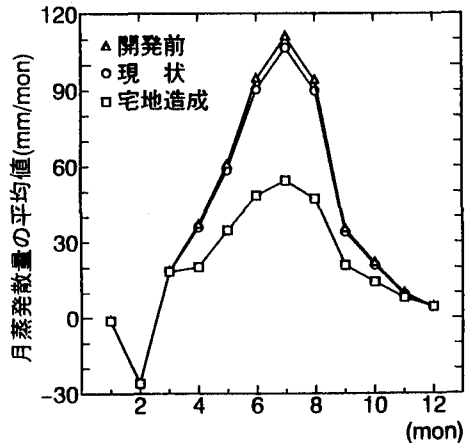


図-5 網走川流域における
蒸発散量年変化に対する土地開発の影響

期をむかえていることが分かる。さらに、9、10月には、 $q + E$ より降水量の方がかなり多くなっており、土壌水分や地下水として貯留されていることが分かる。網走川流域については省略しているが、海から河川への水の逆流があるため多少異なる部分がある程度で、ほぼ同様の結果が得られている。

1年間の合計値を示すと、

常呂川流域の場合、

$$r = 758 \text{ mm/yr}, q = 412.8 \text{ mm/yr}, E = 465.1 \text{ mm/yr}$$

となり、計算値の蒸発散量 (E) が実測値の蒸発散量 ($r - q$) よりかなり多くなってしまった。この原因としては地下水の影響や水文年の考え方も考えられるが、その他に土地被覆の状態や市街地、住宅地の浸透面積の影響も考えらる。したがって、現在、土地利用図による今回の土地被覆分類の正解率、及び航空写真による、市街地、住宅地の浸透面積の確認を検討・解析中である。また、新しい手法による浸透面積の計算法も検討中である。

図-7は常呂川流域において地球温暖化により気温が現状より一様に 2.4°C 上昇した場合の影響を示している。流域全体においては 2.4°C の上昇に対し、それぞれ現状より 16.31 mm/mon の増加である。気温上昇に伴う蒸発散量の増加は夏期で大きく、特にピークとなる7月では 2.4°C の上昇に対し現状より各々 $6, 12 \text{ mm/mon}$ の増加となり、全体の増加量の約40%を占めていることになる。標準偏差については省略するが、6、7、8月で増加量が大きく約 $2 \sim 5 \text{ mm/mon}$ の増加である。

写真1、2は、常呂川流域の蒸発散量が最少の1月と最大の7月の月平均蒸発散量を5段階表示したものである。写真1を見ると北見市と常呂川の水源地の中間で蒸発散量が最も大きく、次いで、下流部の河川沿いが大きくなっている。これは、写真1が1月の蒸発散量を表しているために流域全体が雪に覆われており、気温や風速、水蒸気圧だけが蒸発散量の計算に効いてきたためと思われる。写真2は7月の月蒸発散量を表したものであるが、北見市街で極端に蒸発

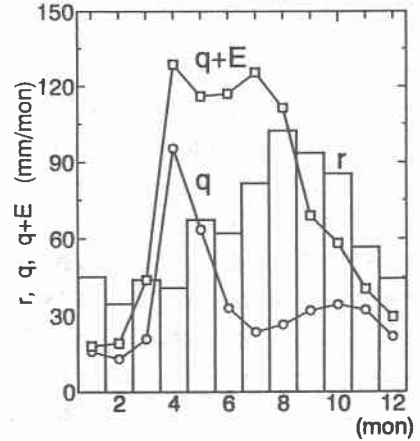


図-6 $r, q, q + E$

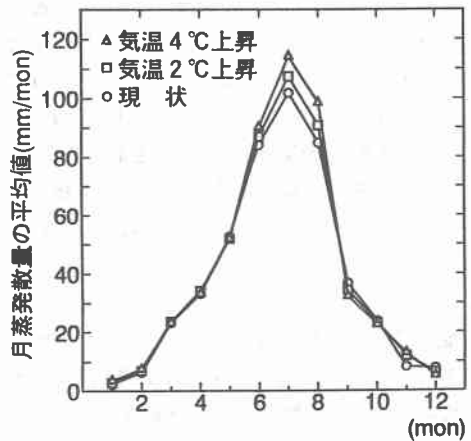


図-7 常呂川流域における蒸発散量年変化に対する地球温暖化の影響

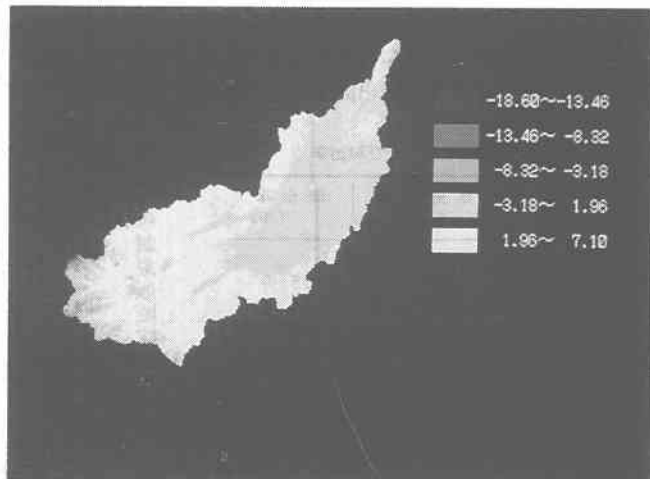


写真1 常呂川流域における蒸発散量 (1月)

散量が少ないことが良く分かる。これは、ヒートアイランド現象と密接な関係がある。また、標高に比例して蒸発散量が低くなっていることが分かる。これにより、気温や風速、水蒸気圧が蒸発散量の計算に大きく関係があることが改めて分かった。

5. 結論

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

1) 補完関係式としてMorton式を用いて、常呂川・網走川流域の月平均蒸発散量を求めることができた。年平均蒸発散量は常呂川流域にお

いて465.1mm/yr、網走川流域において444.8mm/yrと得られた。この蒸発散量の年変化は、夏期に大きく冬期に小さい7月をピークとするほぼ対称形となることがわかった。

2) 常呂川・網走川流域における土地被覆別の蒸発散量年変化を月蒸発散量の平均値、標準偏差の形で推定できた。特に、アルベドの小さい水域、水田、森林、草地、畑で蒸発散量が大きく、不浸透面を有する市街地と住宅地で蒸発散量が小さい結果となった。

3) 常呂川・網走川流域蒸発散量年変化に対する土地開発の影響は、宅地造成の場合に月平均値が著しく減少し、さらに気温上昇の影響については、7月が最も顕著で2℃の上昇に対し月平均値が6mm/monの増加となった。

4) 常呂川流域において、降水、流出、蒸発散という水文サイクルを考慮した水収支の年変化を推定することができた。しかし、年総計値ではまだ誤差が大きい。

5) 1月と7月の月蒸発散量を5段階表示することができた。

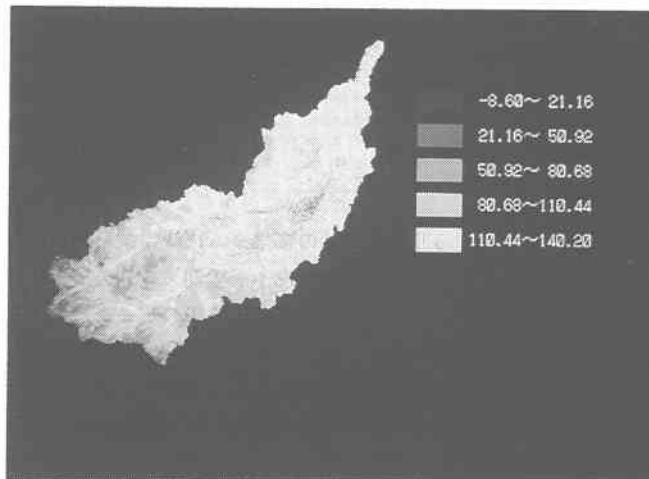


写真2 常呂川流域における蒸発散量（7月）

<参考文献>

- 1) Morton, F. I.: Estimating evapotranspiration from potential evaporation: practicality of an iconoclastic approach, J. Hydrol., Vol.38, pp.1-32, 1978.
- 2) Ktoda, K.: Estimation of river basin evapotranspiration, Environmental Research Center Papers Univ. Tsukuba, No. 8, pp.24-26, 1986.
- 3) 建設省監修: 下水道施設設計指針と解説, 日本下水道協会, pp.40-44, 昭和50年
- 4) 大槻恭一他: 気象試料から推定したわが国の蒸発散量-実蒸発散量推定に関する研究(3)-, 農土論集, No.112, pp.25-32, 1984.
- 5) 佐渡公明, 根田聖児: ランドサットTMデータと補完関係式を用いた流域実蒸発散量年変化の推定-常呂川流域について-, 水工学論文集, 第38巻, 1994.
- 6) 宇宙開発事業団 地球観測センター編: 地球観測データ利用ハンドブック-ランドサット編・改訂版-(財)リモート・センシング技術センター, pp.6-3~6-5, 昭和61年
- 7) 日本リモートセンシング学会出版委員会: パソコンによるリモートセンシングデータ解析, 1989.