

地下水揚水の削減方法の比較検討

建設省土木研究所 石 崎 勝 義
北 川 明
遠 藤 真 一

1. 調査の背景

地盤沈下現象は国民の生活や生産活動に多大の損失をもたらす公害であるが、その進行は今日もお続けている。その原因が地下水の過剰な揚水にあることは明白な事実であり、地盤沈下の進行をとめるためには地下水揚水量を大巾に削減することが必要である。

しかしながら水資源の中で地下水の占める割合は極めて大きく、我国の年間水使用量 870 億トンのうち地下水は 130 億トンを含め 15.0 % となっている。(建設省調べ)

地下水揚水量削減の施策はこれまでも行なわれ、それなりの効果は上って来ているが、抜本的な解決には程遠く、今日でも全国 46 地域 7,380 km² の区域で最高 272 mm/年の沈下を示している。²⁾

表-1 は関東地方の地下水使用量であるが、年間で約 40.8 億トンとなっており、これは年間平均で 129 m³/sec の流量に相当する。¹⁾

表-1 関東地方淡水使用量(単位億トン/年)

	上 水	工 水	農 水	計
淡 水 使 用 量	37.3	32.5	42.2	112.0
内 地 下 水 使 用 量	10.8	15.7	14.3	40.8

国土庁の推計によると関東地方において昭和 60 年までに可能な地下水転換量は 10.8 億トンとなっており、少なくとも今後 10 年位の間には問題が解決する見通しが立っていない。³⁾

これまでの地盤沈下対策は主として、ダムにより水資源を開発し、これを地下水の代替水にあてるという方式であり上に述べた今後の見通しもこのような考え方に基くものである。

しかしながら地盤沈下公害の大きさを考えるとき、とくにゼロメートル地帯の洪水、高潮・津波等による災害を考えるとき、地盤沈下の進行をとめることは優先度の極めて高い目標の一つに挙げられるべきであり、目標達成の手段についても現行の対策に必ずしも捉われないで技術的に可能性のある、あらゆる方法について検討を行うべきであると考ええる。そのような意味で可能性のある手段を列挙してみると次のようである。

- (1) 下水処理水等の再利用
- (2) 工業用水等の使用合理化
- (3) 河川水と地下水の連結運用
- (4) 地下貯水池等地下貯水池による水開発

最近本格的な計画が検討される運びとなった「緊急水利用高度化事業」は(1)の範ちゅうに属するものであり、今後の成果が大いに期待される。⁴⁾

本論はこれまでに比較的論じられる事の少なかった(2)~(4)について、主として技術的・物理的な面からその可能性、有効性を検討したものである。

2. 水使用合理化による地下水揚水量の削減

2-1 水使用合理化技術の現状

工場、ビル、し尿処理場、養魚場等の事業所で使用している水を工程を改良する等の方法で節約使用する

ことによって地下水揚水量を削減しようとするものである。

ここで注意すべきは水使用合理化と水再生利用の違いである。水再生利用は一度汚濁された各種の排水を高度処理して再び工程に戻して使用するものである。一般に再使用にあたって要求される水質の水準が高いため、処理については高度の技術が必要であり、経費もかなり高くなる。これに対して、水使用合理化は水の使用方法を改良することによって使用水量の節約をはかるものであり、水処理の必要がなく、高度の技術も要しない。

実施例は各地にあるようであるが、全国的な実情は調査されておらず、把握されていない。

筆者らは横浜市の精密工業（S.48）、メッキ工場（S.48）、土浦市の建設機械工場（S.48）、塩ビ成形工場（S.49）における水使用合理化実施の実情を調査した。⁵⁾ その結果の一つを例示すると図-1のようになってとくに難しい技術は採用されてはみらずに日量 3,000 m³ の水使用量が同 1,000 m³ にまで減少している。

水使用合理化に要する費用は表-2のようになって工場①の場合は節約コストがやや高いが工場②～④についてはかなり安いものである。

東京都は水使用合理化の調査、実施を組織的に進めている。^{6), 7)}

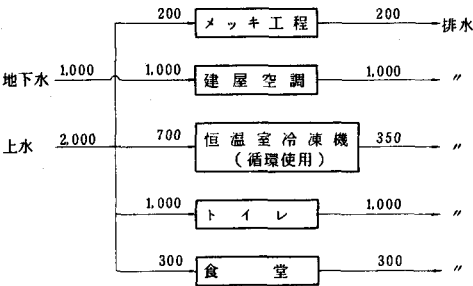
これによると工場毎に調査・設計した節水量は表-3のようになっており節水によって水使用量は節約前の $\frac{1}{4}$ 程度にまで減少することがわかっている。

2-2 水使用合理化による地下水揚水の削減可能量

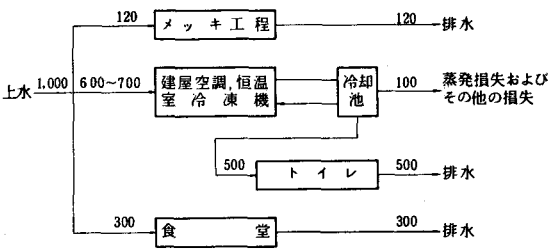
関東地方を対象にして工業用水の使用合理化によって節約される水量を試算してみる。

計算条件は次の通り、

- ① 工業用水使用量は工業統計49年資料による。



a) A 社横浜工場、節水を実施する前の用水バランス (単位トン/日)



b) A 社横浜工場、節水実施後の用水バランス (単位トン/日)

図-1

表-2 各工場の水節約量と経費

工場	節 約 量		経 費	1 m ³ /日 あたり 節約費用	1 m ³ あたり 費用	比 較 1 m ³ あたり
	比 較 方 法	節 約 量				
①	元設計 節約設計 1500 m ³ /日 → 300 m ³ /日 ($\frac{1}{5}$)	1200 m ³ /日	約 7000 万円	58	29 円/m ³	
②	じゅんかん量 じゅんかん補給水 23,800 m ³ /日 → 500 m ³ /日 ($\frac{1}{15}$)	22,300 m ³ /日	約 6 億円	28	14	地下水 9 円 上水 25 円
③	従 来 節約後 3000~4000 m ³ /日 → 1000 m ³ /日 ($\frac{1}{3}$)	2500 m ³ /日	約 5500 万円	22	11	上水 (排水費含) 85 円
④	従 来 節約後 12,200 m ³ /日 → 3,600 m ³ /日 ($\frac{1}{4}$)	8,600 m ³ /日	約 100 万円	1.2	0.6	上水 (排水費含) 85 円

工場は 300 日操業と仮定
元利及償却は 15 % と見込む

表-3 東京都工業用水用途別節水率

用途別区分	現状水量	節水後水量	節水量	節水率
	①	②	③ = ① - ②	④ = ③ ÷ ① × 100
冷却水	16,149 m^3 /日	1,632 m^3 /日	14,517 m^3 /日	89.9
洗浄水	8,042	2,546	5,496	68.3
水洗便所	1,970	681	1,289	65.4
雑用水, その他	6,209	2,839	3,370	54.3
合計	32,370	7,698	24,672	76.2

資料：東京都工業用地下水減水勧告調査

- (注) 1. 移設、廃台となった対象施設の用水は現状水量からのぞいてある。
 2. 上水道への転換水量は節水後水量に加えてある。
 3. 上記事項に該当する水量は次の通り。

② 計算は東京、神奈川、埼玉、千葉、群馬、栃木、茨城の1都6県のそれぞれについて行い、集計する。

③ 水節約可能量は上記の東京都の節約率によって算定する。すなわち冷却用水 0.9, 洗浄用水 0.7, その他用水 0.6 とする。但し冷却用水のうち節約の進んでいる臨海部については市原市の調査に基く節水率 (0.76) を使用する。

	(m^3 /日)	
	移設廃台水量	上水転換水量
冷却水	2,815	154
洗浄水	84	0
水洗便所	0	34
雑用水, その他	0	303
合計	2,899	491

その結果は表-4 のようであって、A. 全淡水使用工場を対象とするときは日量 521 万 m^3 (60 m^3 /sec), B. 対象を地下水使用工場のうち日量 2,000 m^3 以上使用のものに限定すると日量 162 万 m^3 (19 m^3 /sec) の節約が可能であることが推定される。これを前述した年間平均地下水使用量にくらべると A の場合で 46 %, B の場合で 15 % に相当し、かなりの量であることがわかる。

なお水の使用方法は工場毎にかなり異なることが指摘されており、正確な水使用合理化可能量を把握するには工場毎の調査が必要になる。その意味では上記の計算結果は一応の目安を与えるものであって今後より精度の高い調査が実施されることが望まれる。

表-4 水使用合理化可能量 (単位万 m^3 /日)

	関 東	東 京	神奈川	埼 玉	千 葉	群 馬	栃 木	茨 城
淡水使用量 (取水量)	730	100	223	82	134	50	55	83
① 冷却用水	235	30	106	23	12	28	5	27
② 洗浄用水	335	46	66	42	92	14	35	39
③ その他用水	158	23	50	16	30	6	14	16
地下水使用量	252	29	51	43	37	25	34	33
(同上 淡水使用量に占める割合)	35%	29%	22%	53%	28%	51%	61%	36%
水使用合理化量 (全淡水使用を対象)	521	74	157	60	91	40	38	58
同 (日量 2,000 m^3 以上の地下水使用工場対象)	162	16	33	27	25	17	22	20

3. 河川水・地下水の連結運用による方法

これまで河川水と地下水はそれぞれ別個のものとして使用されて来たが最近両者を組合せて使用すべきことが提唱されている (世界水法制度国際会議, 国際かん排会議等)。周知の如く都市用水は年間を通じて

一定の水量が常時必要とされる。これに対して河川水は時間的変動が大きいため、使用できる水量は流量時系列のうちの極小に近い値によって制約を受け、平均的な河川流量にくらべてかなり小さい部分を利用しているに過ぎない。一方地下水の利用は現状では年間を通じて一定量が使用される事が多いが、必要があれば時系列的に変動する揚水を行っても差支えない。このように性質の異なる二つの水供給のシステムを連結することによって、現状のままの河川流況の下でも新しく水使用量を増加させたり、或は地下水揚水量を削減することが出来るはずである。

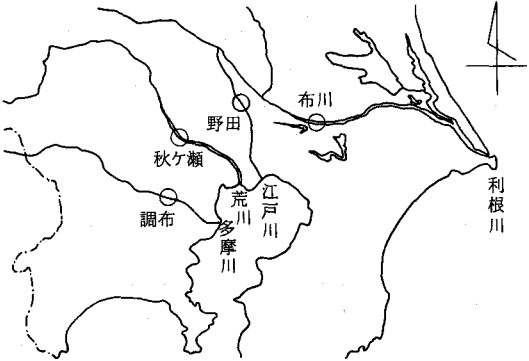


図 - 2 計算対象地点

今回はまず概略の揚水削減（或は開発）可能性を知る目的で次のような手順で試算を行ってみた。

- ① 関東地方にある利根川（布川，野田），荒川（秋ヶ瀬堰），多摩川（調布堰）の昭和 44～48 年の流況を用いる。（図 - 2）
- ② 流量から下流側水利権量（慣行水利を含む）と維持用水量の合計（表 - 5）を差引いたものを取水可能な余剰水と考える。
- ③ 河川水の利用は上記 3 河川一体で考えることとし余剰水を合計する。

図 - 3 はこのようにして求められた余剰水の時系列を対象として、もし $100\text{ m}^3/\text{sec}$ の取水を希望した場合にどれ位が取水可能かを見たものである。

いま取水量の想定（希望補給量と名付ける）をいろいろに仮定した場合、5 年間のうちで取水が可能な日数の割合及補給可能総量の希望補給

表 - 5

番号	河川名	流量観測所名	維持流量 (t/s)	利 水 権		正常流量 (t/s)
				期 間	水 量 (t/s)	
1	利根川	布 川	50.0	4月～9月 10月～3月	40.0 2.0	90.0 52.0
2	江戸川	野 田	9.27		22.22	31.49
3	荒 川	秋ヶ瀬	5.0		0.0	5.0
4	多摩川	調 布	5.0		4.88	9.88

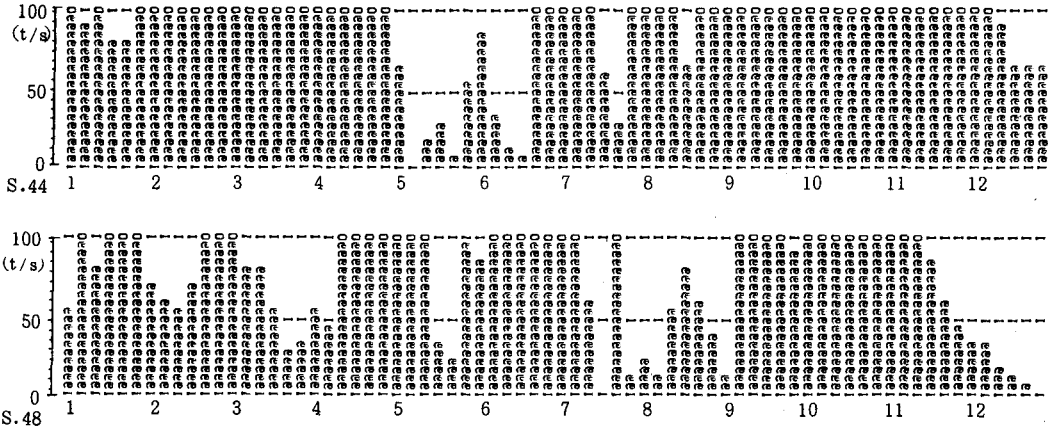


図 - 3

総量に対する割合を求めると図-4のようになる。(%)
 関東地方の平均地下水使用量(約 $130\text{m}^3/\text{sec}$)
 についてみると日数で40%程度、総量で70%
 程度が肩がわりできる可能性があることがわかる。

なお、上記の試算は、河川流況として現状のま
 まである事を想定しておりダム等の水利施設によ
 って流況が将来平滑化される影響を考慮していな
 い。

又流量記録についてもその観測精度についての
 吟味を行っており、又水輸送の時差、損失等をも
 考慮していないので実際には河川—地下水連
 結運用による効果は図-4を割り引いて考える必要
 はあるが一応の目安としてその効果が相当大きい
 ものであることは容易に想像され、今後技術的に
 詳細な検討を行う価値は充分にあると考える。

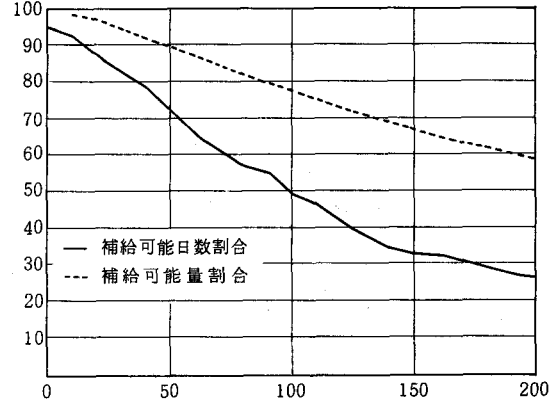


図-4 希望補給量に対する余剰水
を対象とした可能補給量

4. 地下貯水池による水開発

地下ダム等地下水帯を貯水池として利用して水資源を開発する構想については昨年建設省が発表して以来
 各所で論じられている。

地下水貯水池による水開発にとって最大の技術上の問題は人工かん養に伴う目づまりの発生である。かん
 養の対象となる地層が砂礫層である場合は注入が容易であるが、対象が砂層である場合には時間の経過とと
 もに目づまりが発達し、回春のための揚水を行う等の努力にも拘らず注入に伴う損失が増大してやがて可能な
 注入量が大巾に減少する。

目づまり現象についてはまだ発生機構が十分に把握されていない。そのため基礎的な研究から出発して目
 づまり発生防止の技術を確立する必要がある、まだ時日を要するものと思われる。

しかしながら対象層を礫層に限ればこれまでの各地での実験の結果から注入についてはそれほど困難は
 ないように見受けられる。扇状地においては水田へのかんがいに伴う地下水位の年間変動が観察されるが、
 これは水田を通じての地下水かん養が可能である事を示している。又かんがいに伴う地下水位変動の実態を
 詳細に観測することによって地下水帯を貯水池として運用する場合の水位変動の予想を立てることが出来る。

上のような考え方から筆者らは地下貯水池(地下ダム)はまず扇状地において検討することが一番困難が
 少ないと考えて埼玉県と協力して荒川左岸扇状地を対象として検討を行っている。

ここでは、地下ダムによって開発可能な水量についての試算を紹介する。⁸⁾

作業は次のような手順で行われた。

- ① 荒川寄居地点の昭和33～48年の流量記録のうち、年間流量の小さい昭和35～40年を計算の対
 象とした。なお昭和36年に二瀬ダムが完成しているの得上記記録には二瀬ダムの操作が及ぼす影響が
 含まれていることになる。
- ② 計算は半旬毎に行った。
- ③ 流量から下流の水利権量を差引いたものを余剰水と考えて取水の対象とした。
- ④ 開発水量としては上記5年間の全期間を通じて補給できる最も大きい流量と考えた。

図-5は、地下貯水池による開発水量を地下貯水池容量とかん養能力の関係で示したものである。1億
 $5,000\text{万m}^3$ の容量(これは 70km^2 の地下において 10m の水位変化を想定したものである)の場合、 2t/s
 のかん養施設を設置すると $5\text{m}^3/\text{sec}$ 程度の開発が見込まれることになる。

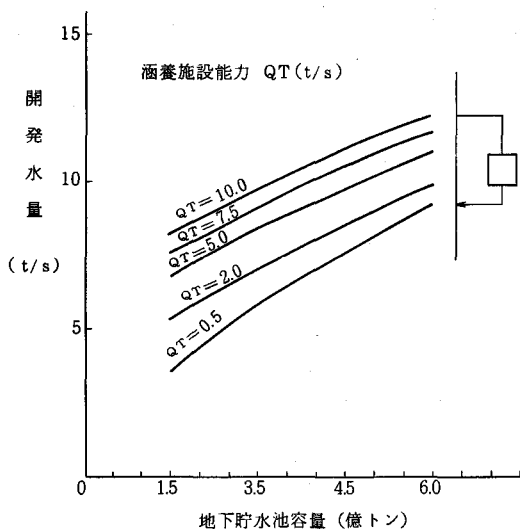


図 - 5

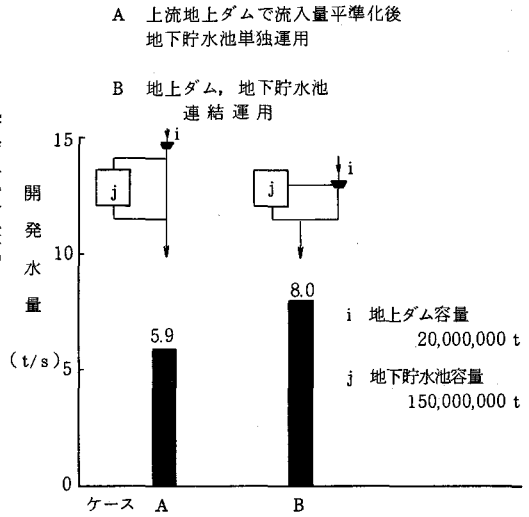


図 - 6

図 - 6 は地下貯水池と地上貯水池の運用について検討したものである。

A は地上貯水池と地下貯水池をそれぞれ単独に運用したものであって開発水量は合計 5.9 t/s となる。

B は地上貯水池と地下貯水池を連絡運用したものである。すなわち地上貯水池は空き容量を大きく保つため貯えた水はなるべく地下貯水池に移しておく。補給についても同じ理由で地上貯水池から行う、というルールに従って両者を連絡運用するものであり、両者によって 8.0 t/s の開発が可能となる。

図 - 7 は両者の連絡運用における貯水量の変化を示している。地上ダムは短期の流況調節、地下貯水池は長期の流況調節を担当していることがわかる。このように地下貯水池は既設の地上貯水池の附属施設として設置することによって主として長期的な流況変化を調節し、利水の安全度向上に役立つことが期待されるのである。

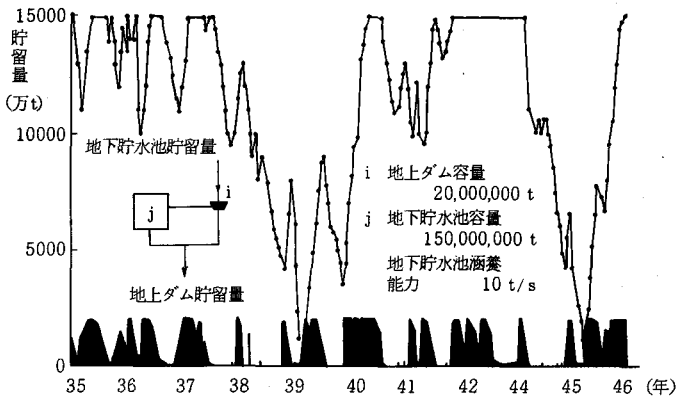


図 - 7

5. 地下水揚水量削減の手順

5 - 1 各手法の比較

表 - 6 は各手法の比較をしたものである。ここで気がつくことは、(1)

再利用についてはコスト・技術の面で問題があるが現行水管理制度の下で実施が可能であるのに対し、(2)～(4)はいずれも地下水について適正な管理制度が必要な点である。しかしながら技術的な面、コストの面では(2)、(3)は(1)にくらべてかなり有利のように思われる。従来の水資源政策はダム等の施設の面で問題の解決をはかろうとした傾向があったと思われるが、今後は水管理とくに地下水管理の制度面での整備を併行して進め、新しい技術を導入すべきであると考ええる。

表 - 6

	削減効果 (開発水量)	技術開発	コスト	汚濁負荷	地下水管理制度
(1) 下水処理水の再利用 *	中	必要	高	減少	不要
(2) 水使用合理化	中	殆んど不要	中	減少	必要
(3) 河川水 — 地下水の連結運用	大	殆んど不要	安	同	必要
(4) 地下ダムによる開発	中	必要	中	増加	必要

* 下水処理水の再利用については使用目的によって性格がかなり異なる。ここでは都市用水への再利用を想定している。なお再利用技術の現状については文献 9) に詳しい。

5 - 2 地下水揚水量削減の手順

図 - 8 は以上の調査をもとに地下水揚水量削減の手順を示したものである。すなわち、

- ① まず水使用合理化によって使用水量を節約する。
この場合まず地下水使用工場を対象とし、次に全工場を対象とする。(100%→85%→54%)
- ② 節約後の使用水量について、河川水に余剰があるときは揚水をやめて河川水で代替する。(54%→8%)
- ③ 残余の地下水使用量については、今後の水資源開発施設(含地下貯水池)によって補給して行く。

以上のように物理的には地下水揚水量を削減していくことは大いに可能性がある。これを実現していくための具体的な調査と制度的な裏付けが望まれる。

なお図 - 8 に記した河川表流水転換可能量は水資源開発による流況変化に伴って減少していく事に注意しなければならない。

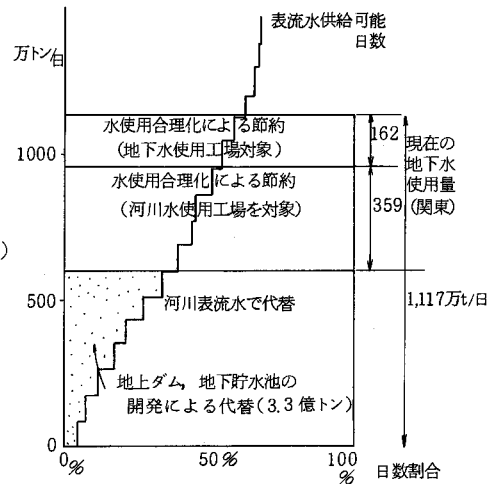


図 - 8

おわりに

水資源問題が盛んに論じられているが、解決すべき目標の中でともすれば地盤沈下問題が忘れられる傾向にあるように感じられる。

又解決手段としてダムによる開発、下水再利用の他に地下水利用もかなり有用であることが意外に気付かれていない。

筆者らは水資源問題を取扱うにあたって地下水を充分に考慮するよう提唱したい。

なお本調査をすすめるにあたって御協力頂いた各位にお礼を申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 国土庁水資源局「水需要量調査結果とその検討」(1976)
- 2) 環境庁水質保全局「全国地盤沈下関係資料」(1976)
- 3) 荒井治「緊急水利用高度化事業について」(建設月報'76-11)
- 4) 土木研究所「地下水の使用合理化についての調査報告書」(土研資料1030号, 1975)
- 5) 東京都公害局「工業用水使用合理化基礎調査報告書(I)」(1974)
- 6) "「地下水使用合理化指導書」(1976)
- 7) 北川他「地下ダムによる水資源開発」地下水学会(1976)
- 8) 土木研究所下水道部「アメリカ合衆国における下水処理水再利用の現状」(土研資料1161号, 1976)