

中国華北平原の水質特徴について（第一報）

唐常源（千葉大学）、嶋田純（熊本大学）、佐倉保夫（千葉大学）、近藤昭彦（千葉大学）、
田中正（筑波大学）、陳建耀（総合地球環境研究所）

1. 前書き

中国の一大穀倉地帯である華北平原では水資源、特に地表水が不足しており、現在の農業・産業・都市用水はほとんど地下水に頼っている状況であり、しかも地下水位は年々低下しつつある。こうした状況に鑑み、本研究では、水循環の一環としての地下水質に焦点を合わせ、現地調査及び文献調査の結果に基づいて、水資源としての地下水の役割を明らかにすることを研究の目的とした。

2. 地域概要

華北平原の西を限る太行山地は古期の花崗岩、片麻岩、頁岩、石灰岩などからなる褶曲山地で、東に向かって山前平原（山麓平原、扇状地、低平原、三角州と配列し、渤海湾に続く。華北平原の年間降水量は日本の半分程度であるが、穀物の産地基地として重要な役割を担っている。降水は季節的に偏在しており、6月終わりから9月中旬の降水量が年降水量の70%以上を占めるが、この時期はトウモロコシの生育期にあたる。一方、主要穀物の小麦の生育期である春は降水量が少なく、これが灌漑用地下水の大量揚水を引き起こしている原因の一つである。

3. 調査方法

華北平原の水問題調査が1997年から始まり、毎年2から3回で行われた。現地では、簡易水道水源および農業用の井戸より地下水を採水するとともに、現地で確認できる範囲で井戸の深さ、スクリーンの位置、GPSによる緯度・経度の把握、簡易水質計によるpH、電気伝導度、水温の測定を行った。また、採取されたサンプルが実験室に持ち帰り、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、および NO_3^- を測定した。 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} イオンはイオンクロマトグラフィで、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- イオンはICPで、 HCO_3^- イオンは滴定法でそれぞれ分析した。調査地域過去地下水位

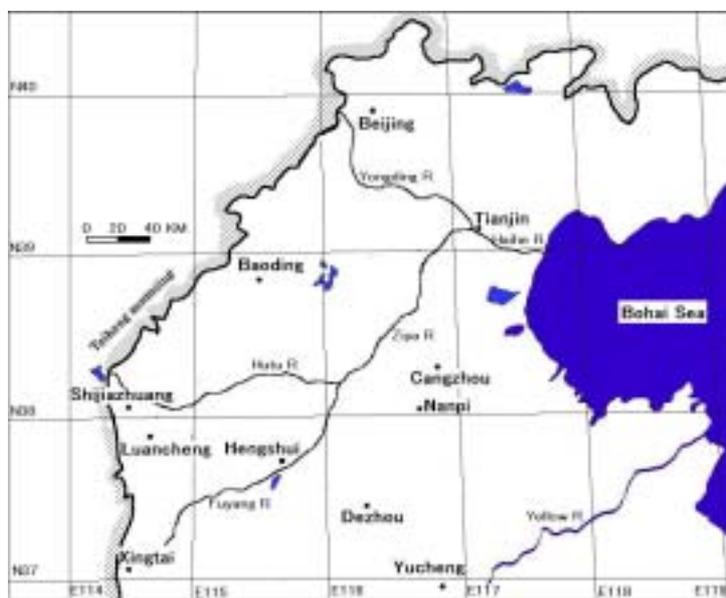


図1 研究地域概要図

及び水質データが文献調査で集められた。

4. 結果

過剰揚水の結果が地下水位の低下である。例えば、石家庄の南約 30km の欒城における観測井の水位記録によると、この地域の 1950 年代の地下水は地表面下 2~3m ほどであったが、その後は一方的に低下し続け、地下水位の低下速度は年間 1~1.5m に達している。また、調査地域における地下水位分布の面積率によると、地下水面深度が 4m 未満の地域は 1964 年には全体の 98%を占めていた。しかし、1964 年から 1993 年にかけて地下水面深度が 4m 未満の地域は一貫して減少し、1993 年には 20%を下回っている。一方で、地下水面の深い地域は拡大しており、地下水面が 20m 以深の地域も 1993 年には 13%に達している。

一方、華北平原の地形は山前平野、低地平野、沿岸部順に西から東へ緩やかな傾斜をしている。地下水が涵養域の太行山から流出域に向かって、水質は次のような順で変遷していく。



表 1 は距離、標高、pH、EC、温度及び主要成分の間の相関係数を示している。SO₄ イオン濃度はCl及び陽イオンと比較的に高い相関を持っている。標高がすべてのイオンと負の相関を持っていることは地下水流動に伴って溶存イオン濃度の増大を示唆する。

表 1 距離、標高、pH、EC、温度及び主要成分の間の相関係数

| | Dist. | Elev. | EC | PH | Temp | NO ₃ | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | Ca | Mg | K | Na |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|------------------|------|-----------------|------|------|------|------|
| Dist. | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| Elev. | -0.69 | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| EC | 0.69 | -0.34 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| pH | 0.18 | 0.44 | 0.52 | 1.00 | | | | | | | | | |
| Temp | 0.40 | 0.26 | 0.64 | 0.84 | 1.00 | | | | | | | | |
| NO ₃ | 0.15 | -0.35 | -0.46 | -0.54 | -0.52 | 1.00 | | | | | | | |
| HCO ₃ | 0.23 | -0.42 | -0.42 | -0.59 | -0.53 | 0.98 | 1.00 | | | | | | |
| Cl | 0.67 | -0.32 | 1.00 | 0.52 | 0.63 | -0.50 | -0.46 | 1.00 | | | | | |
| SO ₄ | 0.90 | -0.60 | 0.86 | 0.19 | 0.41 | -0.02 | 0.06 | 0.85 | 1.00 | | | | |
| Ca | 0.60 | -0.39 | 0.94 | 0.26 | 0.44 | -0.44 | -0.37 | 0.95 | 0.86 | 1.00 | | | |
| Mg | 0.76 | -0.40 | 0.99 | 0.46 | 0.59 | -0.36 | -0.31 | 0.99 | 0.92 | 0.94 | 1.00 | | |
| K | 0.71 | -0.35 | 1.00 | 0.51 | 0.64 | -0.49 | -0.44 | 1.00 | 0.86 | 0.94 | 0.99 | 1.00 | |
| Na | 0.67 | -0.32 | 1.00 | 0.52 | 0.64 | -0.50 | -0.45 | 1.00 | 0.85 | 0.94 | 0.99 | 1.00 | 1.00 |

図 2 は保定から渤海湾までの断面における塩淡水分布を示す。山前平野では、帯水層全層に淡水が分布している。低地平野では、上部帯水層に塩分の高い水が存在するため、深

部帯水層からの淡水が汲み上げられ、灌漑水や飲料水として利用されている。沿岸部では、塩分濃度の高い帯水層が厚くて、300メートル以上にも達している。

また、図3は保定から渤海湾までの断面におけるEC分布を示す。この地域で利用されている淡水のEC値は $1000\ \mu\text{m}/\text{cm}$ 以下であるが、図2の塩淡水境界の分布特徴を考慮すると、地下水のEC値が $2000\ \mu\text{m}/\text{cm}$ 以上になる部分はそれと一致することが分かった。

また、大規模農業の結果として、地下水の硝酸イオン濃度が増えている。特に、硝酸未検出の地下水については、化学成分のバラツキが大きいことから、自然状態での硝酸の濃度が低いと思われる。汚水灌漑を実施している地域では、硝酸濃度が高い傾向が認められる。硝酸検出地域をみると、水質パターンが殆ど $\text{HCO}_3 - \text{Ca} + \text{Mg}$ タイプである。このような水質が太行山東麓の扇状地でよく見られる。このことが涵養である地域では、硝酸汚染の問題が顕在化してきたのに対して、中間域及び流出域では、硝酸が殆ど検出されなかった。



図2 塩淡水分布の模式図

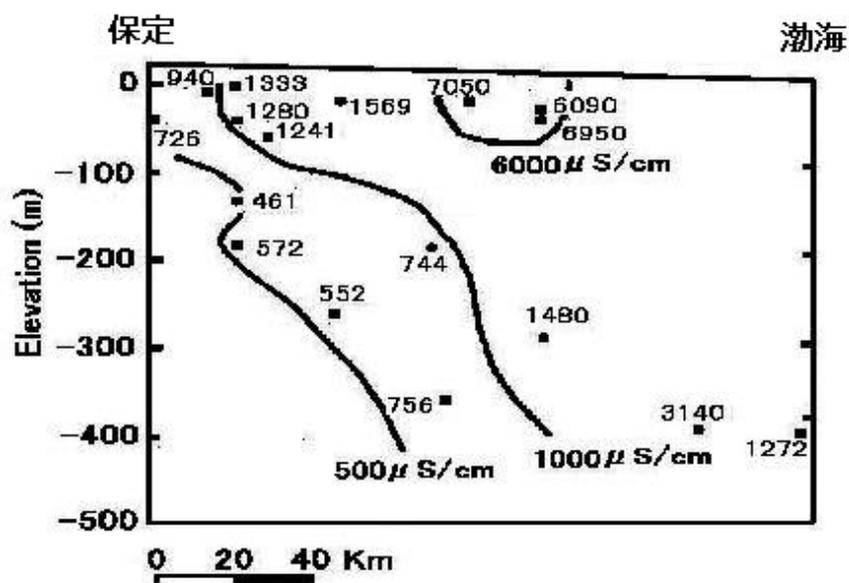


図3 電気伝導度分布図

5. 結論

これまでの調査データから、華北平原の地下水には数千～数万年前の寒冷気候下に涵養された水が広範囲に存在しており、調査地域の平均動水勾配と現在の降水量から見積もら

れる涵養量を考え合わせると、自然状態では非常に緩慢な地下水流動であったことが想定される。中国華北平原では、都市化が進むことによって、水需要性がどんどん高まってきたと同時に、水質問題も深刻化してきた。特に乾燥・半乾燥地域においては、地表水が期待できないため、地下水は最も重要な水資源として利用している。一方、華北平原自然状態において、塩淡水の分布は地下水開発利用の際に考慮しなければならない問題であるが、地下水流動系の研究にとっても重要なヒントを与えていた。

今後、これまでの調査結果を踏まえ、涵養域、中間域及び流出域での水質特徴とそれに関連する人間のインパクトを解明し、水循環及び物質循環の立場から水質変遷の本質を理解する。

謝辞

現地調査の際に、中国科学院石家庄農業現代化研究所から多大な支援を頂いている。記して感謝の意を表したい。

参考文献：

Shimada, J. Tang, C., Tanaka, T., Yang, Y., Sakura, Y., Song, X. and Liu, C. (2002): Irrigation caused groundwater drawdown beneath the North China Plain. In Balancing the Groundwater Budget. IAH Groundwater Conference, Darwin, Australia, 12-17 May 2002, P1-7.

近藤昭彦、田中正、唐常源、佐倉保夫、嶋田純、芝野博文、劉昌明、張万軍、胡春勝、劉小京、李紀人、陳建耀、沈彦俊 (2001): 中国華北平原の水問題。水文・水資源学会誌。第14巻5号、376-387.

Chen, J.Y., Tang, C., Shen, Y., Sakura, Y., Kondoh, A. and Shimada, J., (2003): Use of water balance calculation and tritium to examine the dropdown of groundwater table in the piedmont of the North China Plain (NCP). Environmental Geology, (in pressed)

唐常源、近藤昭彦、嶋田純、新藤静夫、佐倉保夫、田中正、宋献方、陳建耀、沈彦俊(2002): 中国河北平原の地下水における硝酸態窒素汚染の現状について。第6回水資源に関するシンポジウム論文集、223-228.