

第 19 章 総括

第 19 章 総括

19.1 結論

本調査の結論を以下に述べる。

(地形・地質・水文地質)

- ・調査地域は中～小起伏山地、丘陵地、扇状地・段丘、沖積平坦面および海岸平野からなる。
- ・ワジ・スーク川は河川長 34km、平均傾斜 0.008 (1:125)、最高海拔標高 275m、流域面積 71km² であり、下流側では平坦で広い氾濫原を形成している。
- ・ワジ・スーク川を河川形態からサブエリア - 1～サブエリア - 7 の 7 区域に区分される。
- ・調査地域の地質は先第三紀のオフィオライトおよびバチナ・オリストストロームが基盤を形成し、東側の低地帯に新第三紀層が分布し、台地およびワジ沿いに第四紀層が分布する。
- ・第四紀層は洪積世の段丘堆積物および沖積世の沖積段丘堆積物、ワジ堆積物および崩積物からなる。沖積段丘堆積物はカルクリート化した砂礫からなり、透水性が比較的低い。
- ・地質構造は北東 - 南西および北西 - 南東方向の断層が卓越し、ワジ・アル・ジジ川沿いに 1～1.5km 幅の地溝帯が形成されている。

(地化学調査)

- ・土壌分析から、製錬工場(煙突)の排ガスおよび廃さい堆積場を起源と推定される Cd、Pb、Cu、Fe、Zn および SO₄ の高濃度帯が工場周辺に認められ、いずれも工場を中心に拡散しており、その一部は 3km を越えて拡散していると推定される。
- ・廃さい堆積場裏側への廃水の基盤を通じて漏洩が確認された。
- ・沖積土壌中の塩分の分析結果から、廃さい堆積場および PS-2 地点での漏水がある。

(物理探査)

- ・廃さい堆積場では地表下約 30m 前後に比抵抗基盤がほぼ水平に推定され、基盤上面には低比抵抗の層が水平に広がっている。
- ・ワジ・スーク川の中流域では、高比抵抗基盤は地表下 50～100m であり、上流部より深い。
- ・上～中流域では、基盤深度が地表下 5～10m と比較的浅く、その形状はほぼ平坦である。
- ・中～下流域では、基盤深度が地表下約 20m とやや深くなる傾向が認められるが、その形状は全体としてほぼ平坦である。

(ボーリング調査)

- ・廃さいは 30.20～30.65m の層厚を有し、多量の黄鉄鉱を含んでいる。基盤は風化した玄武岩質枕状溶岩からなり、亀裂が発達し脆弱化している。
- ・河床堆積物の層厚は 4～19m であり、砂礫からなる。上部はルーズなワジ堆積物であるが、中部～下部はカルクリート化した砂礫であり、下部カルクリート層の透水性は低い。
- ・地下水について、廃さい堆積場下流部から 2km 付近では-7m 程であり、サガ (Sagha) 部落から上流側にかけて深度-4m 以下で浅く、下流側では深度-10.53～-15.40m で深い。

- ・サガ部落から上流側にかけて-4m以下の極めて浅い地下水域が存在し、狭窄地形によるダム・アップ効果であると推定される。
- ・透水係数は $10^{-3} \sim 10^{-6}$ cm/sec である。試験区間が殆どカルクリート化した砂礫層中であることから、透水性が比較的低くなっている。
- ・Cd、Pb は廃さい堆積場の浸透水が高濃度を示し、下流部の DH-5 孔までおよびアージャ・ベイダ鉱山付近がやや高濃度である。その他の区域はオマーン国の飲料水基準値以下である。
- ・Cl は $45 \sim 34,578$ mg/L の濃度範囲であり、廃さい堆積場の浸透水とその下流部、DH-5 孔および廃さい堆積場の北西部が高濃度である。
- ・浅層および深層地下水は各成分とも下流側に極端に距離減衰を示し、DH-5 孔付近で平坦な低濃度を示す。サガの KM-14 地点までが明瞭な汚染範囲といえる。
- ・Cd、Cr、Pb および Cu は DH-5 孔で濃度のピークを呈し、DH-6 孔では Mn および Fe が高濃度のピークを呈する。DH-5 孔～DH-6 孔周辺においては弱鉱化作用による影響が推定される。
- ・Cl は下流側に距離減衰を示すが、DH-5 孔で高濃度のピークを呈し、この高濃度は海水の送水用パイプからの漏洩があったと考えられる。

(汚染源調査)

- ・廃さい堆積場からは高濃度塩分等の汚染水の流出および廃さいの飛散がある。
- ・ズリはラサイル、ラサイル・ウエスト、アージャおよびベイダ鉱山周辺のズリ堆積場に廃棄されている。
- ・ラサイル・ウエストおよびアージャ鉱山の旧オープン・ピット内の底部が鉱水によって満たされている。
- ・製錬所には、硫酸工場も脱硫設備も設置されておらず、簡単な集じん（塵）後、主煙突から直接放煙されている。
- ・電解廃液は、脱銅電解の後、消石灰で中和し、乾固池に運搬し蒸発処分している。
- ・廃さいは硫黄を多く含んでおり、多量の酸性水が発生する可能性があるが、堆積場内の過剰石灰、カルクリート層、基岩等の緩衝作用が機能すると考えられる。
- ・ラサイルおよびアージャ鉱山のズリの硫黄含有量は $10 \sim 13$ % と高く、今後酸化が進行することから、酸性水と共に重金属類が溶出する。
- ・アージャ鉱山の鉱水は Hg、Na、Ca、Cl の濃度が高く、周辺の浅層地下水と異なる。ラサイル・ウエスト鉱山の鉱水は pH がやや低いが、周辺の地下水と相関がある。

(環境（水質）調査)

- ・pH は概ね中性である。
- ・電気伝導度は廃さい堆積場内が 7.66 S/m で高く、ワジ・スーク川に沿って減少する。
- ・Cd、As、Pb、Cu、Zn、 SO_4 は廃さい堆積場内、堆積場の北西方向、アージャの鉱水、ラサイル・ウエストの鉱水が高い濃度を示す。
- ・Cl は廃さい堆積場内、堆積場の北西方向、ワジ・スーク川に沿って高い濃度を示す。
- ・ソハール鉱山地域の水質汚染の影響範囲を以下に示す。
 - 廃さい堆積場を汚染源として、汚染物質は Cd、Pb、Cu、 SO_4 および Cl が顕著に認められる。汚染の範囲は廃さい堆積場からワジ・スーク川に沿って下流側のサガ部落（KM-14 地

点) までである。

- 下流側の C1 の高濃度帯は旧海水の影響と考えられる。地下水の³Hによる年代測定の結果は27年であり、鉱山開発以前のC1の汚染であることを示している。
- 廃さい堆積場の汚染地下水が北西側に漏洩し、ワジ・バニ・ウマル・アル・ガルビ川を汚染している。
- ・地下水シミュレーションにはGroundwater Modeling System (GMS)V. 3.0を使用した。
- ・ワジ・スーク川のモデルを使用した定常地下水のシミュレーション結果は、実測地下水位とほぼ一致した。
- ・汚染地下水のシミュレーションの試算結果は、モニタリングの測定濃度と良い相関を示した。

(大気質調査)

- ・SO₂濃度の1時間平均値は0.001ppm (3μg/m³) ~0.835ppm (2,404μg/m³) の範囲にある。
- ・TSPの24時間平均値は49~332μg/m³の範囲にある。
- ・PM₁₀の24時間平均値は33~205μg/m³の範囲にある。
- ・降下ばいじん量は0.42~2.90ton/km²/30日の範囲にある。
- ・冬期大気質調査においては、SO₂濃度の1時間平均値は3~2,404μg/m³の範囲にあり、24時間平均値で2データがWHOの基準値を超えた。
- ・大気拡散シミュレーションにはISCST3ソフトを使用した。シミュレーションの結果、実測値と予測値は比較的高い一致を示し、地上最大SO₂濃度の予測結果はOMCO製錬所の西側において24時間平均値が120μg/m³に拡散する結果を得た。

(製錬所拡張計画の調査)

- ・過去に4万t/年、10万t/年の増産計画が策定されたという情報があったが、現時点では実行性のある増産計画は無いものと判断される。

(環境影響に関する調査)

- ・環境影響調査は、汚染による被害に関する環境質問票に基づき、地域住民、保健・医療機関にインタビューの実施および質問票への記入を依頼した。その結果、喘息等の疾病、家畜数の減少、植物・昆虫への若干の影響があることが判明した。

(社会経済等調査)

- ・社会経済調査を実施した。ソハール県の人口は104,169人であり、農業および漁業がさかんであるが近年急速に工業化が進んでいる。
- ・ソハール鉱山周辺区域には8つのコミュニティがあり、119世帯、870人が居住している。
- ・鉱山周辺では地下水の塩水化、悪臭等の被害を受けている。
- ・アンケート調査の主な回答結果は、面接者の約半数はソハール鉱山地域の状況を知らない、ソハール鉱山地域を訪れたほぼすべての人は現在の環境悪化の影響を知っている、ソハール鉱山地域の土地を将来は使用する可能性もある、ソハール鉱山地域の環境条件を改善するために何らかの支払意思を有することは妥当と考えている等である。

(技術移転)

- ・技術移転は共同調査、現地での実務訓練、解析結果の説明、日本におけるカウンターパート研修などを通して実施した。
- ・オマーン国の社会環境や MCI、MMEW の人材不足等の障害はあったが、両国調査団の真摯な態度、両調査団員各自の意欲的な取り組みにより、十分所期の目的を達成し完了した。

(環境保全対策)

- ・ソハール鉱山地域の環境保全対策は、廃さい堆積場およびワジ・スーク川沿い汚染対策からなる。
- ・廃さい堆積場およびトレンチ - 1 および - 2 までの対策は OMC0 によって実施され、一部建設が開始されている。廃さい堆積場の対策はアスファルト系材質での被覆とトレンチ - 1 および - 2 の浸透水を蒸発池で処理することからなる。
- ・ワジ・スーク川沿いの汚染対策はサブエリア-1、3、4 および 5 で検討・評価された。
- ・サブエリア-1 ではトレンチ - 2 の下流部にグラウトを施し、下流側への漏水を防止する。
- ・サブエリア-3 の汚染対策は、PS-2 地点の塩分汚染土壌を掘削・除去し、掘削された部分は清浄な土で置換する。汚染土は海岸部の埋め立て処分が可能である。
- ・サブエリア - 4 の汚染対策は KM14 地点において揚水井戸又は集水トレンチで汚染地下水を揚水する。トレンチ掘削時、ガス・パイプライン、道路等に留意する必要がある。
- ・揚水ポンプで集水した汚染水はサブエリア - 5 に設置する水処理施設に送水する。
- ・サブエリア - 5 の汚染対策は揚水井戸群の設置からなる。汚染水は水処理施設に送水する。
- ・汚染地下水は水処理施設で塩分と重金属類を除去する。処理システムは逆浸透膜 (RO) からなる分離膜技術を使用する。処理水は家庭用や農業用の水質に達し、KM14 のワジ・スーク川下流域に再注入する。また、現地住民用の農業用水にも使用できる。
- ・水処理後の高濃度の塩分と重金属類を含む濃縮水は蒸発池で蒸発乾固され、最終的に倉庫内に保管される。
- ・各サブエリアの対策案から 1) 総合的に最善と考えられる対策案-A、2) 総合的に次善と考えられる対策案-B、3) 技術的に必要最小限と考えられる対策案-C を選定した。
- ・対策案-A の工事期間は約 12 ヶ月で建設コストは 11.9 百万ドルである。対策案-B の工事期間は約 12 ヶ月で建設コストは 5.3 百万ドルである。対策案-C の工事期間は約 12 ヶ月で建設コストは 2.5 百万ドルである。

(経済分析)

- ・対策案-A について、経済コストとして 10.12 百万ドル、維持費として 17 万ドルを計上した。
- ・地下水の汚染により地価が低下しているが、対策工事の実施により果樹園等の地価が回復する。地価上昇の便益は 59,700R. 0./年と算定された。
- ・やぎ等は減少傾向にあるが、将来地下水の浄化が進めば山羊の頭数は増加し、その便益は 37,500R. 0./年と算定された。
- ・OMC0 による飲料水の供給コストの節約便益は 11,984R. 0./年と算定された。
- ・アンケートで得られた支払い意志額の平均は、マスカット市の有職者では 7 R. 0./年、ソハール市では 8R. 0.であった。マスカット市およびソハール市の支払い意志額の年度別総計はそれぞれ 800,000~1,000,000 および 350,000~450,000 R. 0./年と算定された。

- ・ 経済評価の結果、本プロジェクトの内部収益率が 14.0%と高い値を示していること、純現在価値額が正のかなり高い値を示していること、費用便益比率が 3.0 以上であることなどから、本プロジェクトは十分可能性があると判断できる。
- ・ 汚染浄化による定性的な便益として、地域周辺に分布する約 16km² の果樹園が果実の品質の向上、アル・オンス自然保留地等の樹木の減少が抑制される、ミツバチ等野生動物の生息数の増加、汚染改善による観光客等の増加等が挙げられる。

(プロジェクト実施の検討)

- ・ 政府も地域の環境改善に多大の貢献が確実な本プロジェクトコストに対し、応分の負担があってもよいと考える。特に、建設コストは一時的に多額の投資が必要となるため、補助金の支出、諸外国政府あるいは公的金融機関からの援助資金の借り入れについて、できるだけの手助けを OMC0 に与えることが望まれる。
- ・ 理想的にはプロジェクトコストの全額が政府の補助金によりまかなわれることが望ましいが、すべてではなくとも補助金の支出が十分検討されてもよいと思われる。また、金利はやや高いが、国際金融機関に資金援助を求めるのも一つの方法である。この場合、オマーン国の GDP が 156 億ドル (1999 年) であることから、このうちの 0.01%程度を本環境プロジェクトに振り向けることで、十分元利返済は可能であると思われる。
- ・ 本汚染対策案の実施に際しては、詳細実施計画の検討・作成・設計・工事管理等の業務が必要である。また、対策工事完了後の浄化設備の運営管理も重要な業務である。

19.2 提言

本調査の提言を以下に述べる。

(大気汚染防止対策)

- ・ 製錬所からの大気汚染物質は SO₂ とばいじんである。対策としては排煙脱硫法があげられ、大気汚染物質の排出は大幅に改善される。概算費用は US\$ 20,000,000 である。

(環境モニタリング・システム)

- ・ 水質モニタリング・システムに関し、既存のモニタリング孔と共に本調査で掘削した 25 孔のモニタリング観測孔を含め新たに 40 箇所のモニタリング位置を提言する。
- ・ 水質モニタリングについて、サンプルの採取・調整、分析およびデータの解析技術の確立について提言した。
- ・ OMC0 製錬所からの煙源の影響をモニタリングするためには、国営常時監視測定局をもう 1 ヶ所新設することを提言する。

(環境管理体制)

- ・ オマーン国における排水基準および飲料水基準は変更する必要がないと考えられる。
- ・ 水質環境管理体制の強化および鉱山開発プロジェクトに関して、商工省 (MCI) と MMEW とのより綿密な連携を行うことが望ましい。
- ・ オマーン政府は国としての大気環境基準を定めておらず、暫定的に米国の大気環境基準 (NAAQS)

を採用している。大気環境基準は国家大気環境管理計画の基礎をなすものであるため、MRMEは大気環境基準を制定する必要がある。

- ・国の環境大気測定局において環境大気モニタリングを実施しているが、さらにこれらのデータ・レポート等に基づいてデータベース・システムを構築することにより、環境大気管理政策の向上に有効に反映させることが可能になる。

参 考 文 献

1. Ministry of Commerce and Industry (1978): Omani Standard No.8 Drinking Water, Sultanate of Oman
2. U.S. Environmental Protection Agency (1978): Field and Laboratory Methods Applicable to Overburdens and Mine Soils, EPA/600/2-78/054, US
3. Barnett, C. T. (1984): Simple Inversion of TDEM data, *Geophysics*, 49, 923-933.
4. Yamamoto S. (1983): Investigation Method of Groundwater, Kokon-Shoin
5. Chorley R. J., Schumm S. A., and Sugden D. E. (1985): *Geomorphology*, Thomson
6. Directorate General of Minerals (1987): Geological Map of Sohar and Explanatory Note, Ministry of Petroleum and Minerals
7. Directorate General of Minerals (1987): Geological Map of Wadi Bani Umar and Explanatory Note, Ministry of Petroleum and Minerals
8. Johansson, P. O. (1987): *The economic theory and measurement of environmental Benefit*, Cambridge, New York and Sydney, Cambridge University Press
9. Corbitt R. A. (1989): *Standard Handbook of Environmental Engineering*, Mc-Graw Hill
10. British Columbia Acid Mine Drainage Task Force (1989): *Draft Acid Drainage Technical Guide*, Prepared by Steffen Roberston and Kirsten, Inc.
11. Nielsen, D. M. (1991): *Practical handbook of ground water monitoring*, Publisher Chelsea, MI, Lewis Publishers
12. Ministry of Regional Municipalities and Environment (1993): *Regulations for Wastewater Re-use and Discharge*, Ministerial Decision 145/93 dated 13 June 1993, Sultanate of Oman
13. Ministry of Regional Municipalities and Environment (1993): *Regulations for the Management of Hazardous Waste*, Ministerial Decision 18/93 dated 2 February 1993, Sultanate of Oman
14. Ministry of Regional Municipalities and Environment (1993): *Issuing Regulations for Noise Pollution Control in Working Environment* Ministerial Decision 80/94 dated 20 March 1994, Sultanate of Oman
15. Ministry of Development (1993): *General Census of Population, Housing and Establishments 1993*, Sultanate of Oman
16. Arrow, K., Solow, R., Portney, P. R., Leamer, E. E., Radner, R. and Schman, H. (1993): *Report on NOAA panel on contingent valuation*, 58 Federal Register 4601
17. Oman Mining Company L.L.C. (1995-1999): *Monthly Environmental Report June 1995 – March 1999*, OMCO
18. Sengupta M. (1993): *Environmental Impacts of Mining – Monitoring, Restoration, and Control*, Lewis
19. Ministry of Development (1996): *Basic Components and Main Indicators of the Fifth Five-year Plan 1996-2000*, Sultanate of Oman
20. Ministry of Water Resources (1996): *Groundwater Pollution and Remediation in Wadi Suq*, Sultanate of Oman
21. American Water Works Association (1996): *Water Treatment Membrane Processes*, McGraw- Hill

Publishers.

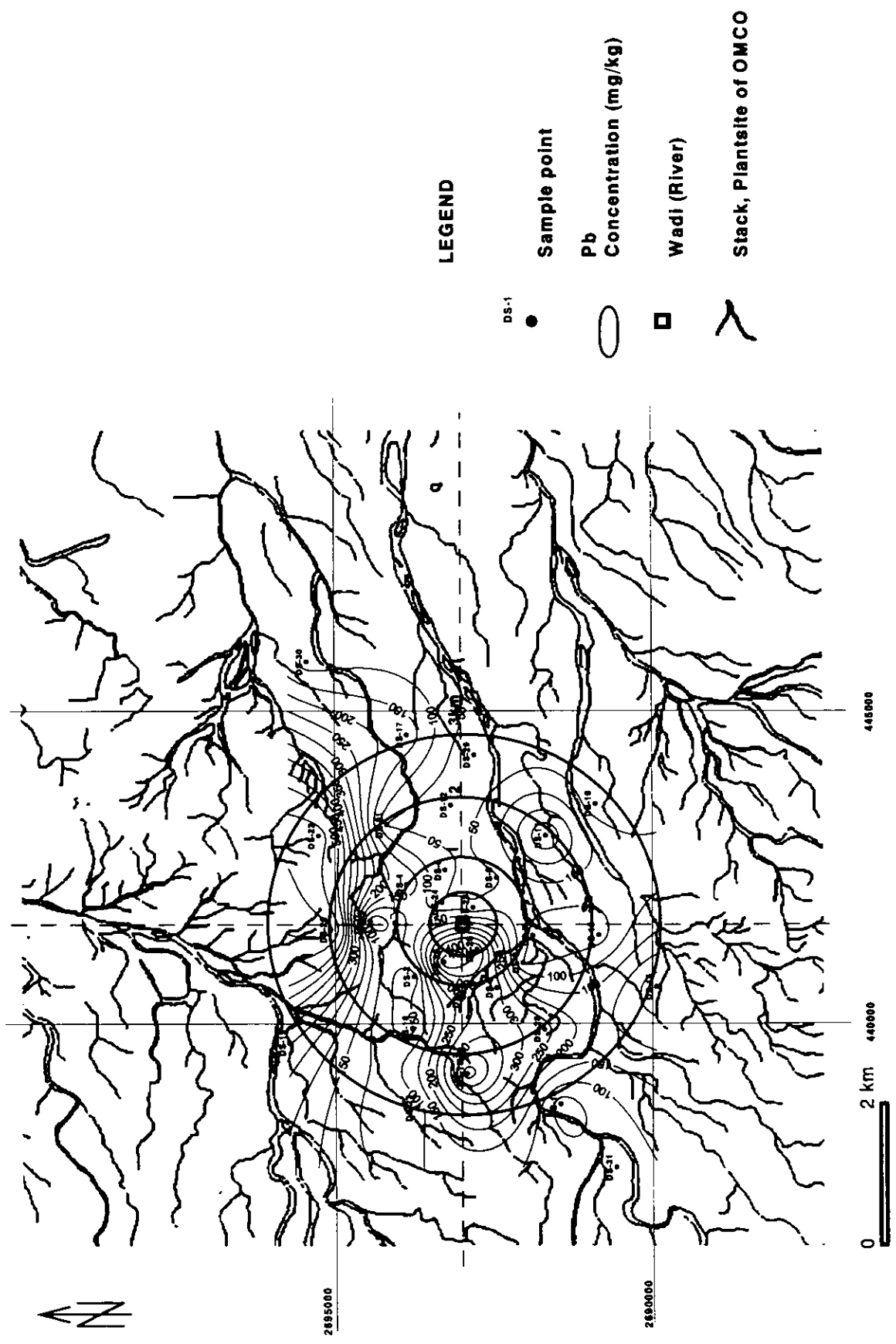
22. Ministry of Development (1997): Statistical Year Book, Twenty Fifth Issue, Sultanate of Oman
23. Ministry of Development (1997): The Fifth Five-year Development Plan 1996-2000, Sultanate of Oman
24. Ministry of Development (1997): The Investment Programme During the Fifth Five-year Plan 1996-2000, Sultanate of Oman
25. Suthersan, S.S. (1997), Remediation engineering: Design concepts. Lewis Publishers, Newyork
26. E. Roberts Alley & Associates, Inc. (1998); Air Quality Control Handbook, McGraw-Hill, New York
27. Gavaskar, A. R., Gupta, N., Sass, B. M., Janosy, R.J., and Sullivan, D. (1998): Permeable Barriers for groundwater remediation: Design, construction and monitoring, Battelle Press, Columbus, Richland
28. World Bank (1998): Pollution Prevention and Abatement Handbook
29. The Society of Exploration Geophysicists of Japan (1999): Handbook of Geophysical Exploration, The Society of Exploration Geophysicists of Japan
30. Bedient, P. B., Rifai, H. S., and Newell, C.J. (1999): Groundwater Contamination: Transport and Remediation, Prentice Hall PTR, NJ.
31. Groundwater and Soil cleanup: improving management of persistent contaminants (1999): Committee on Technologies for Cleanup of subsurface Contaminants in the DOE Weapons Complex, Board on Radioactive Waste Management, Commission on Geosciences, Environment, and Resources, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C.
32. Hida N. (1999): Economic Evaluation of Environment and Administration, Keiso-shobo
33. Chiyoda Corporation (2000): Chiyoda Thoroughbred 121 Flue Gas Desulfurization Process, leaflet of Chiyoda Corporation
34. WHO (2000): Guidelines for Air Quality, World Health Organization
35. Huang, P. M., and Iskandar, I. K. (2000), Soils and groundwater pollution and remediation: Asia, Africa, and Oceania. Lewis Publishers, Newyork

添 付 資 料

添付資料リスト

- 添付資料 - 1 土壤成分濃度分布図 (1) ~ (13)
- 添付資料 - 2 Nano-TEM 探査解析断面図 (1) ~ (10)
- 添付資料 - 3 重力探査解析断面図 (1) ~ (12)
- 添付資料 - 4 ボーリング地質柱状図 (1) ~ (13)
- 添付資料 - 5 揚水試験解析図 (1) ~ (22)
- 添付資料 - 6 ボーリング孔内成分濃度分布図
 - 第 1 回採水 浅層地下水 (1) ~ (16)
 - 深層地下水 (1) ~ (16)
 - 第 2 回採水 浅層地下水 (1) ~ (16)
 - 深層地下水 (1) ~ (16)
- 添付資料 - 7 既存モニタリング水質成分濃度分布図
 - 第 1 回採水 (1) ~ (12)
 - 第 2 回採水 (1) ~ (12)
 - 第 3 回採水 (1) ~ (12)
- 添付資料 - 8 気象モニタリング測定結果 (1) ~ (30)

添付資料 - 1 土壤成分濃度分布図 (1) ~ (13)



LEGEND

DS-1



Sample point



Pb
Concentration (mg/kg)



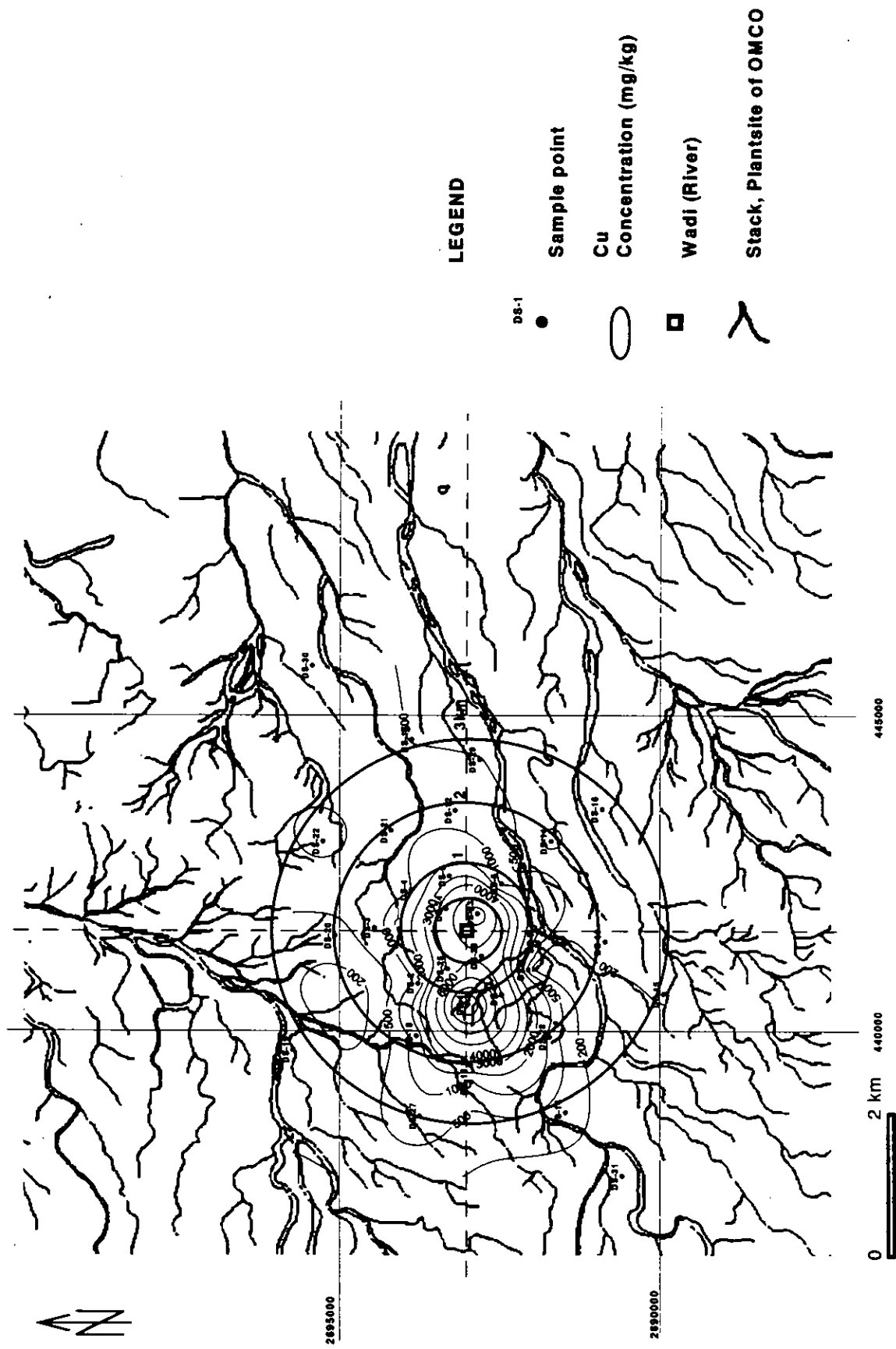
Wadi (River)



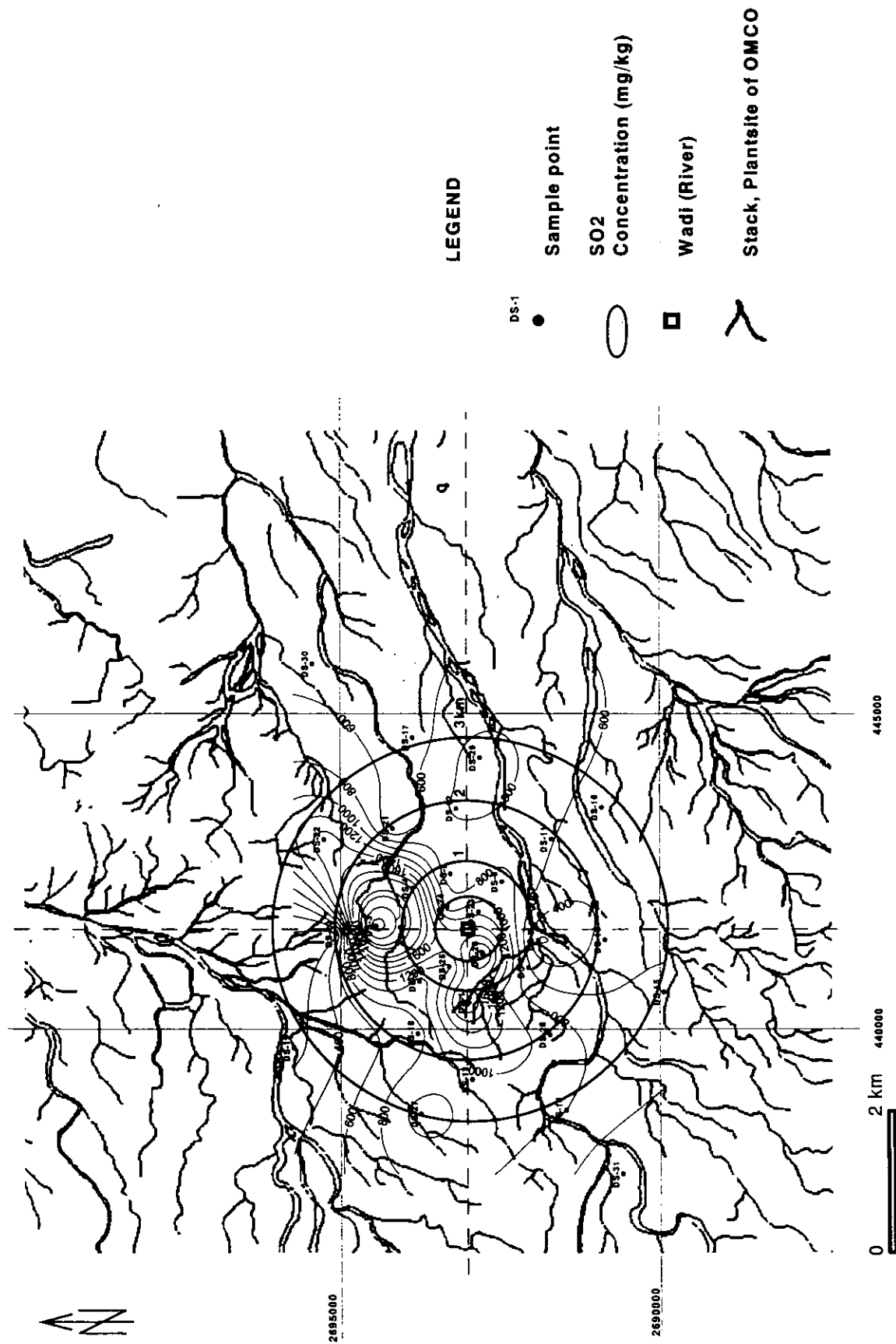
Stack, Plantsite of OMCO



土壤成分濃度分布図 (1)



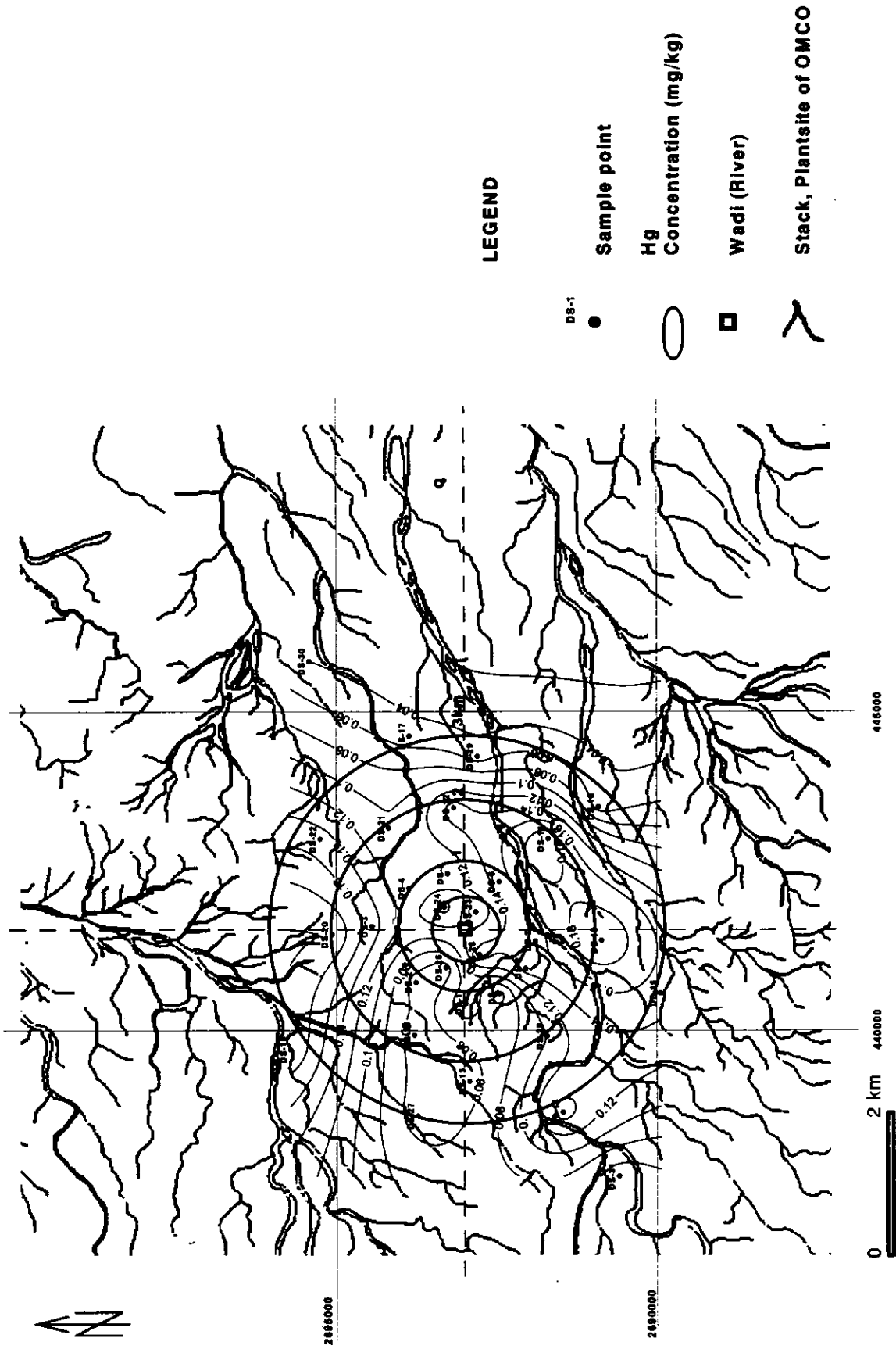
土壤成分濃度分布圖 (2)



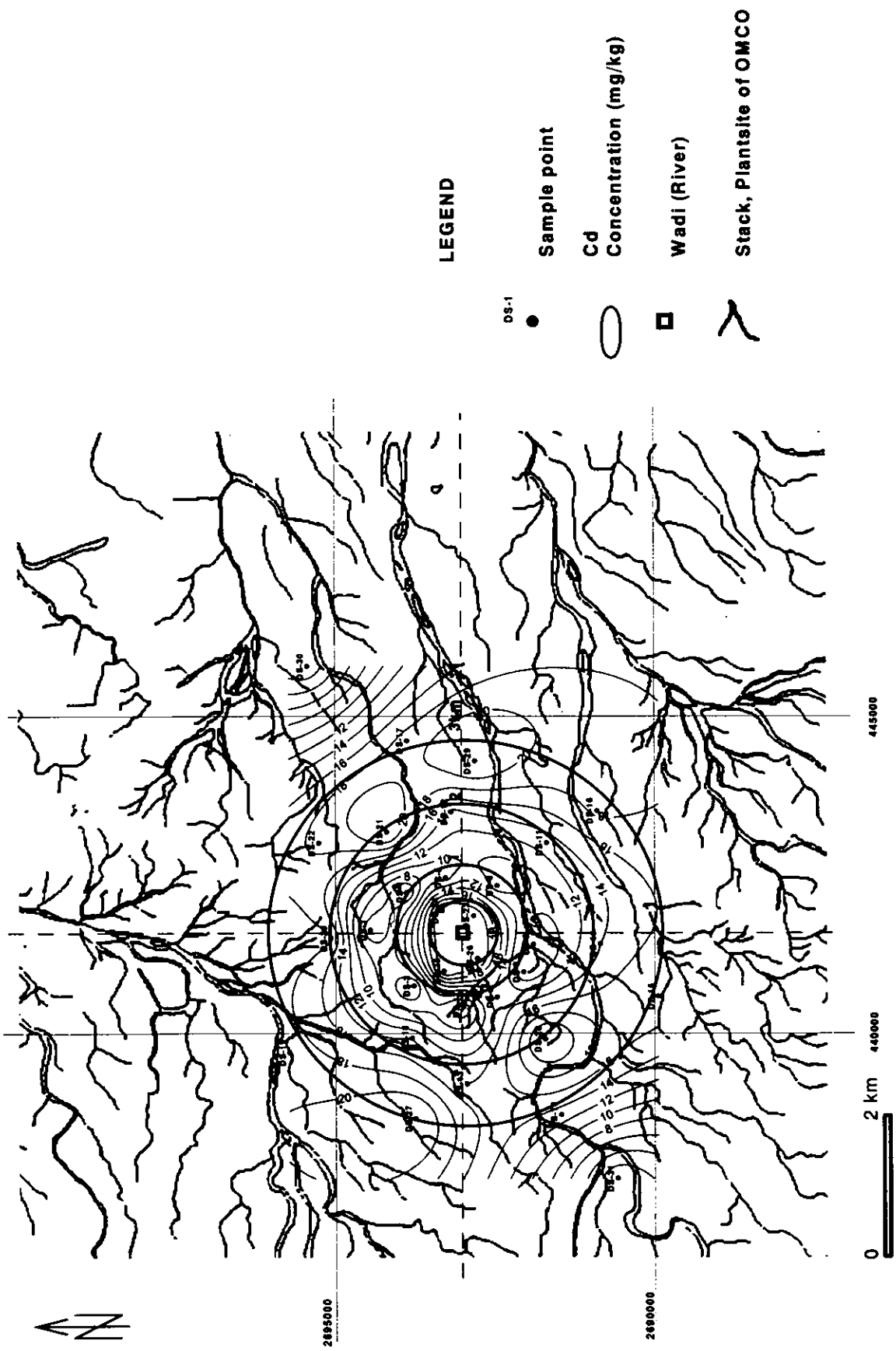
LEGEND

- DS-1 ●
 -
 -
 - ∟
- Sample point
 SO2 Concentration (mg/kg)
 Wadi (River)
 Stack, Plantsite of OMCO

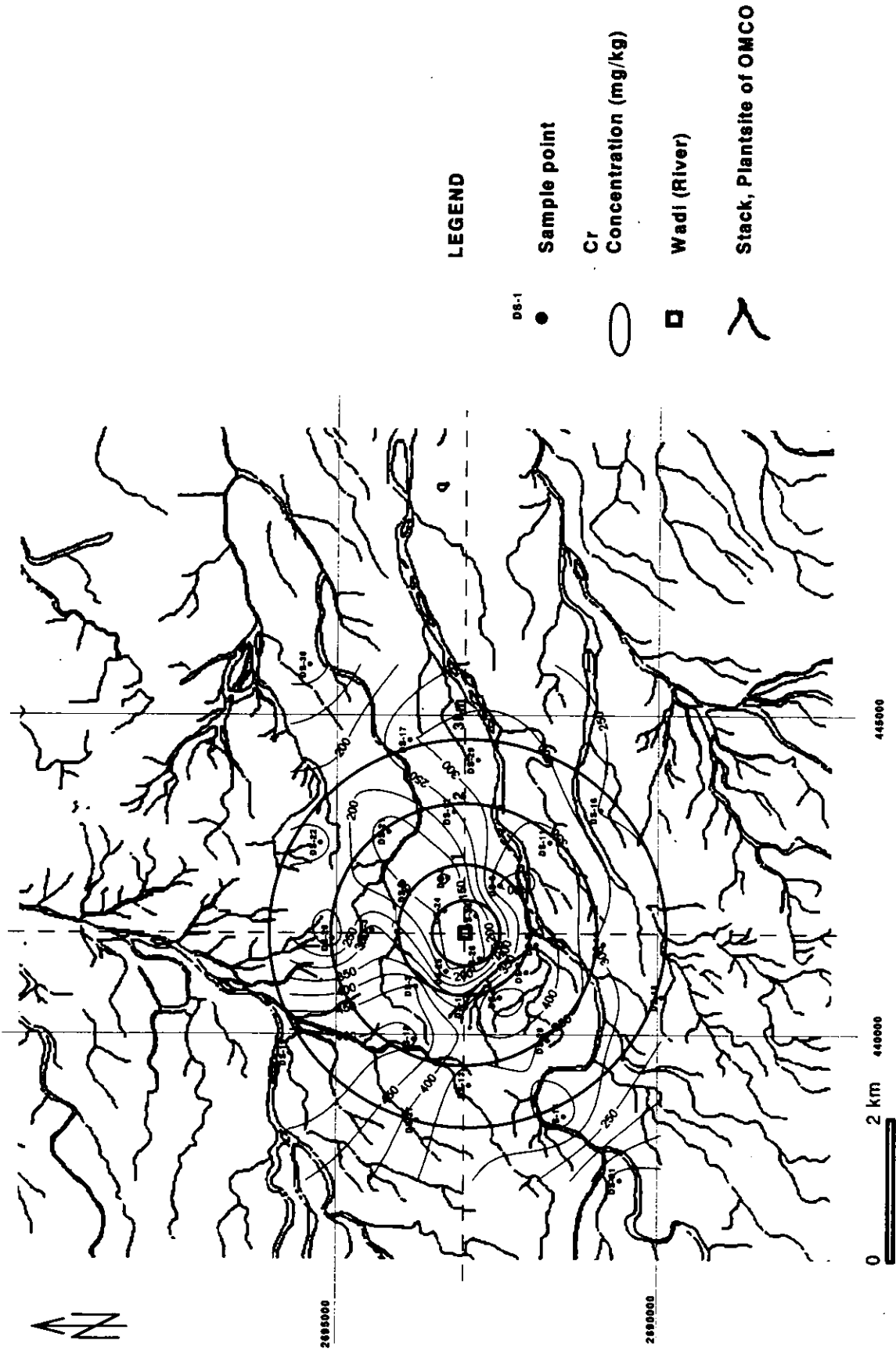
土壤成分濃度分布圖 (3)



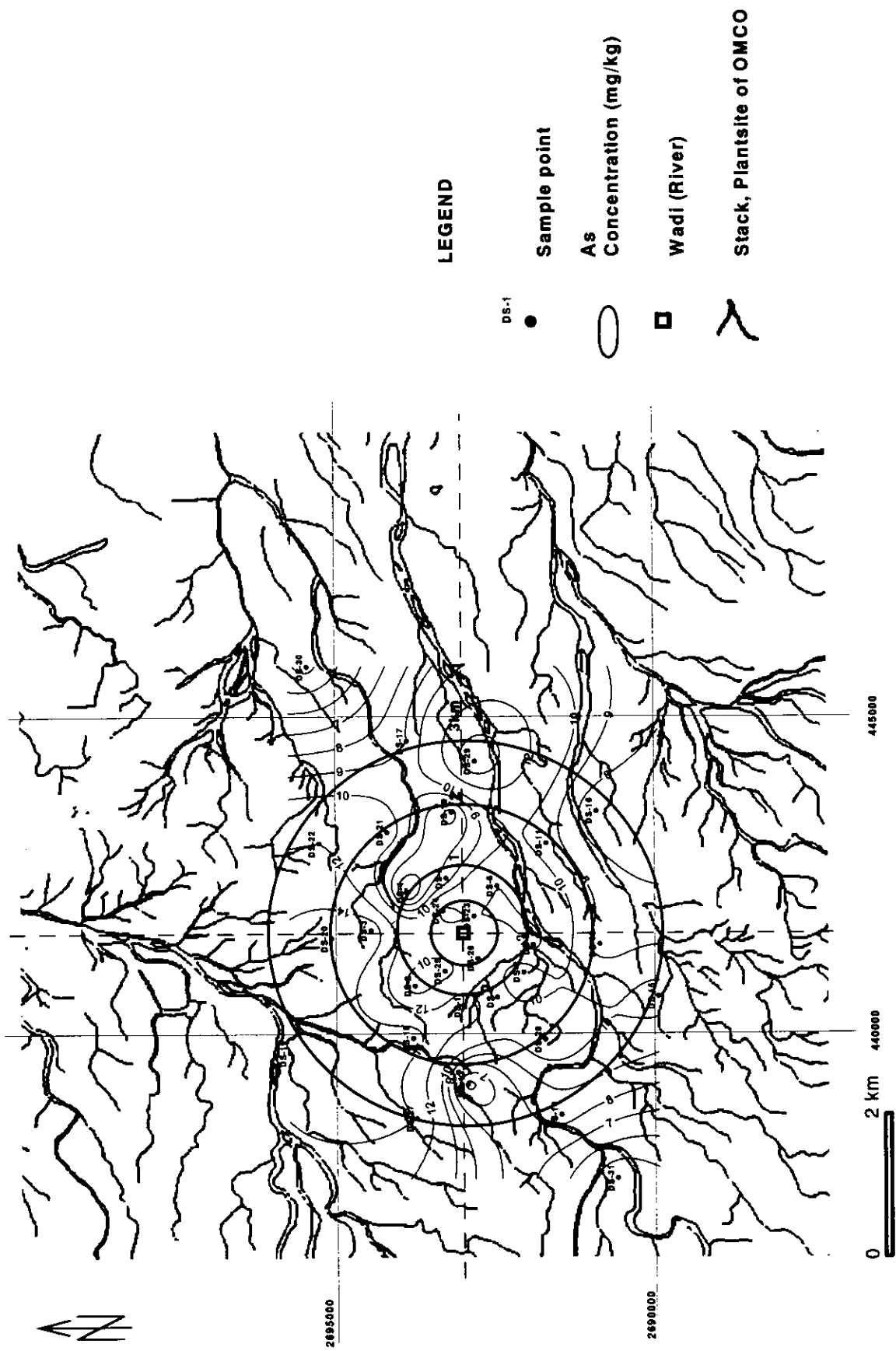
土壤成分濃度分布圖 (4)



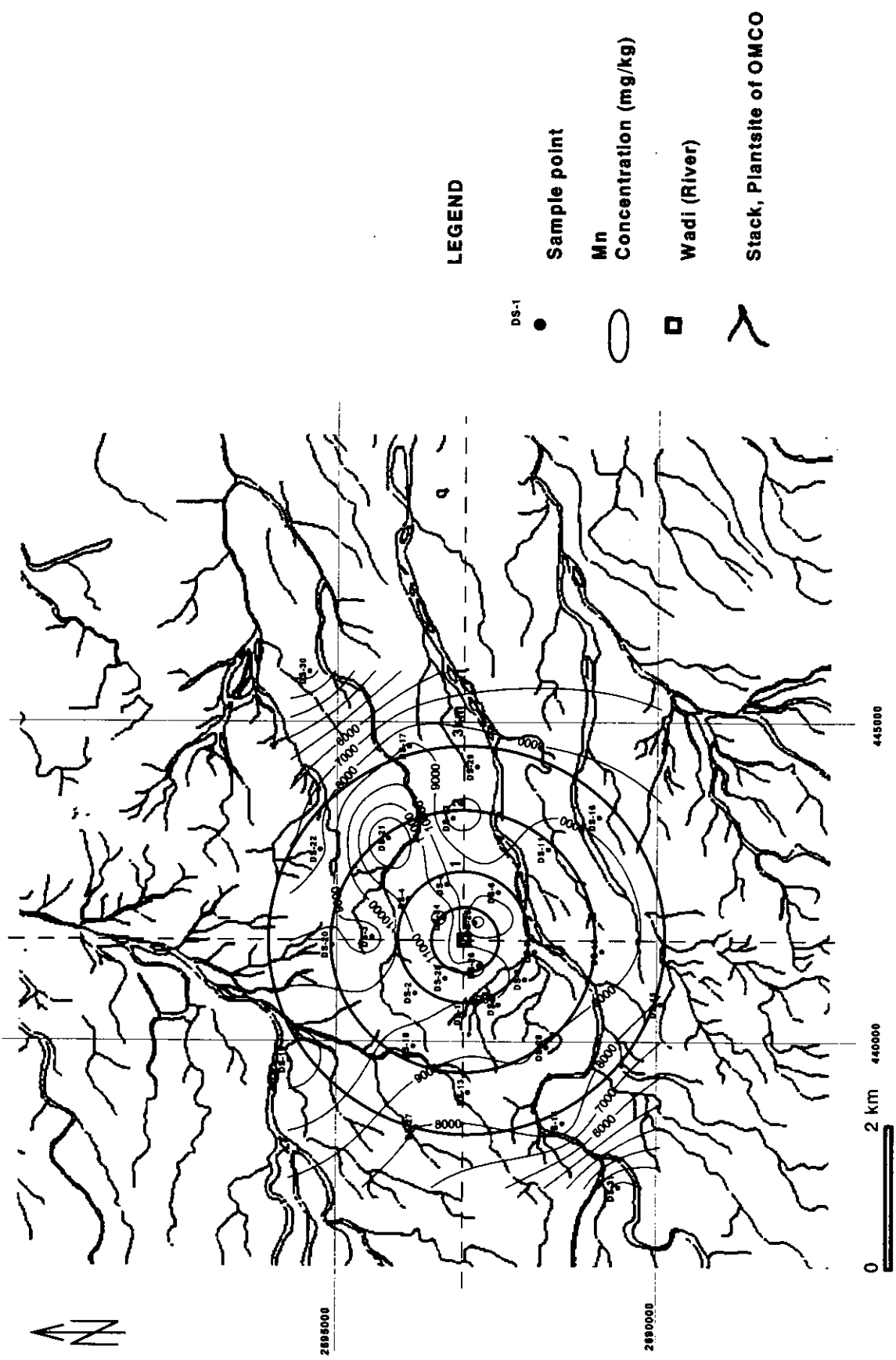
土壤成分濃度分布図 (5)



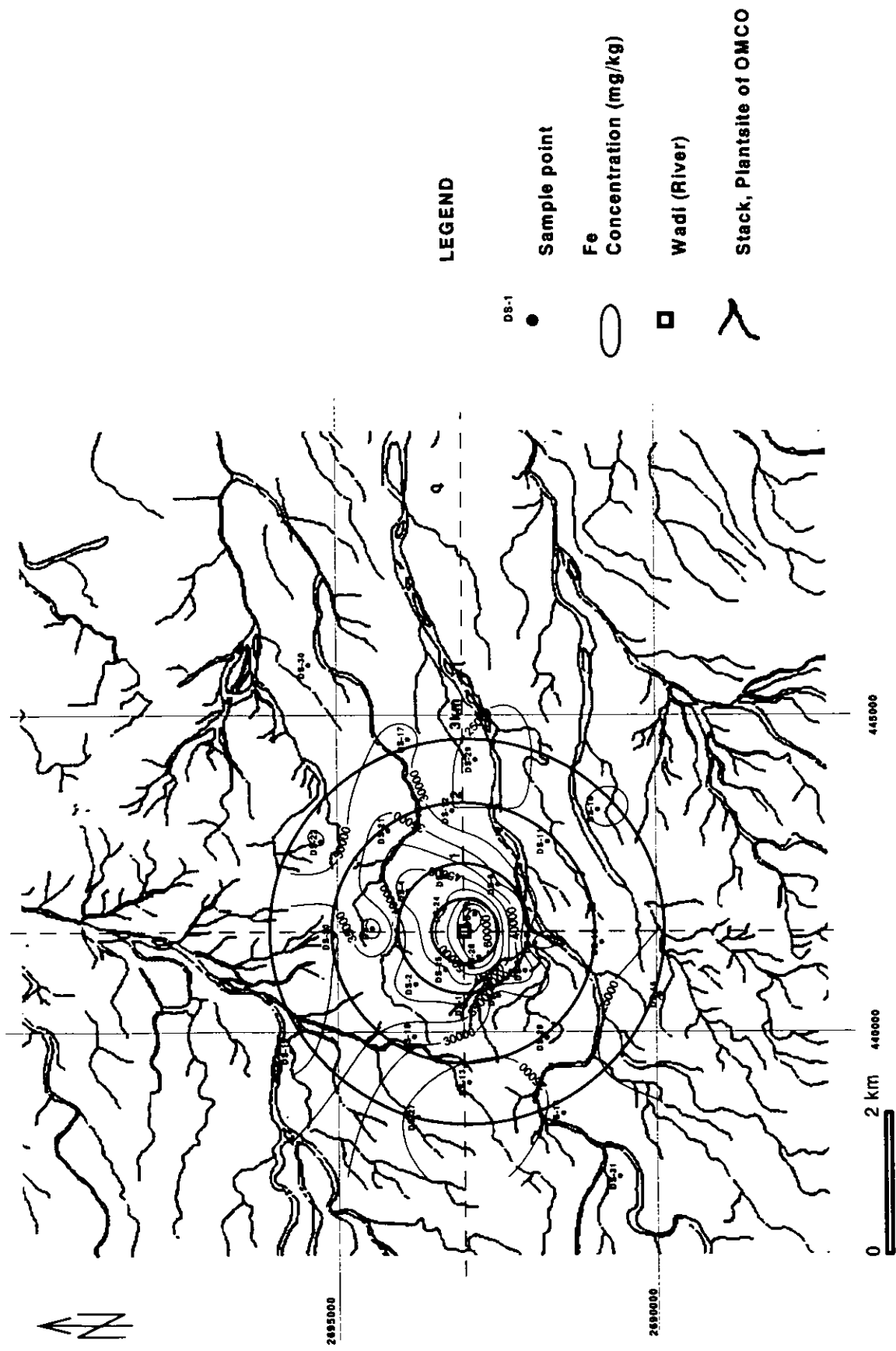
土壤成分濃度分布図 (6)



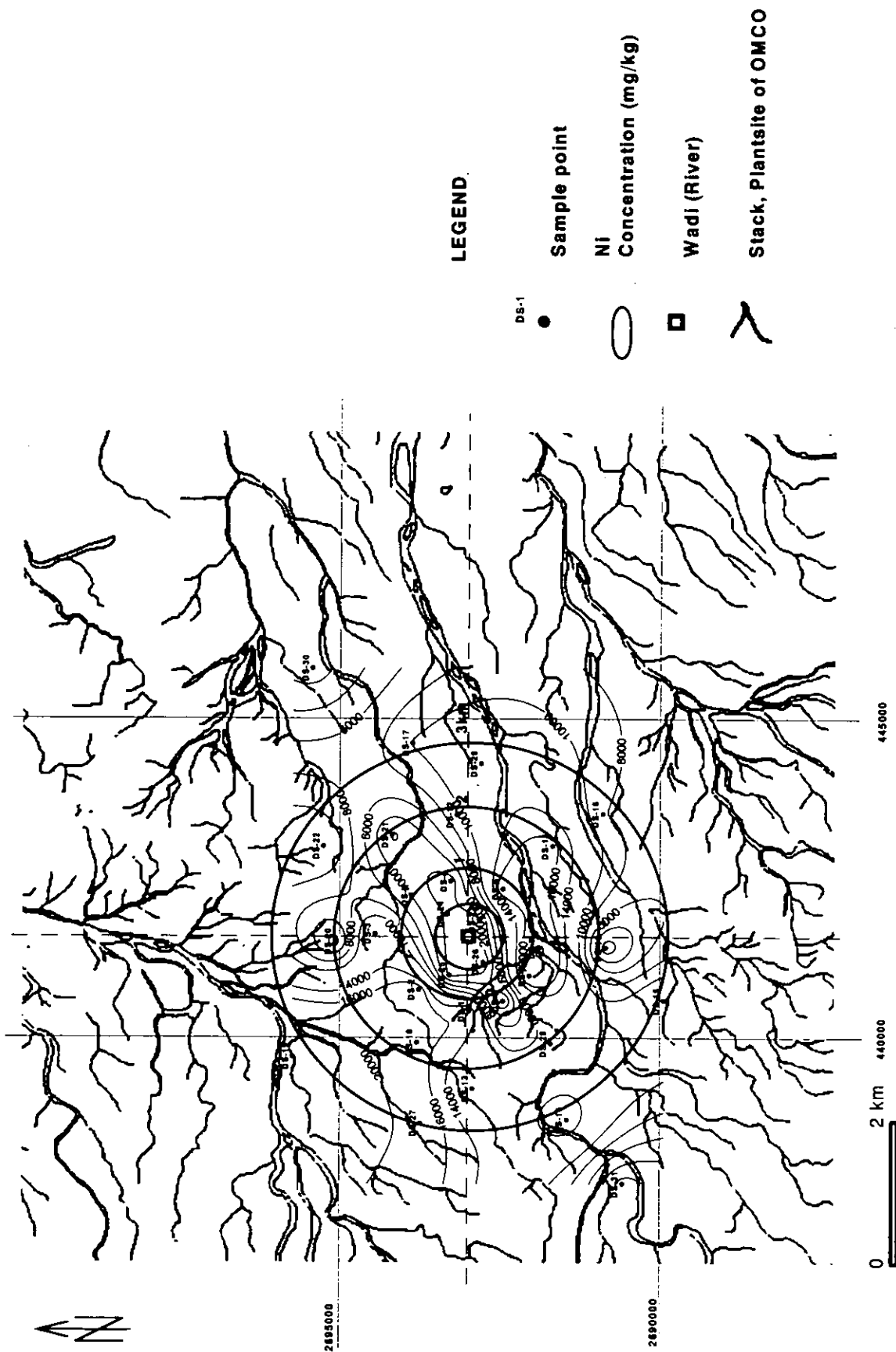
土壤成分濃度分布图 (7)



土壤成分濃度分布图 (8)



土壤成分濃度分布圖 (9)



LEGEND

Sample point

Ni

Concentration (mg/kg)

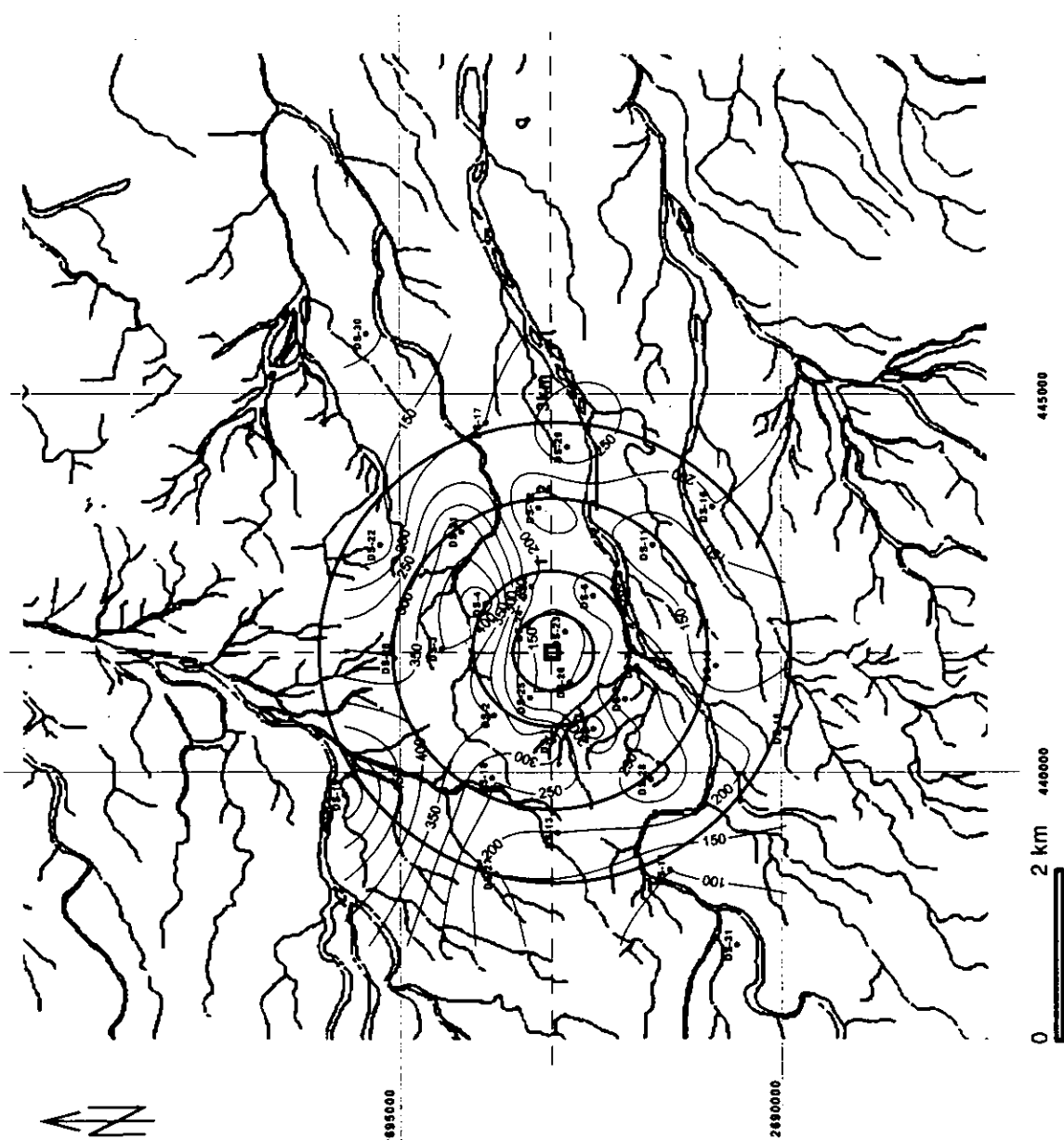
Wadi (River)

Stack, Plantsite of OMCO

DS-1



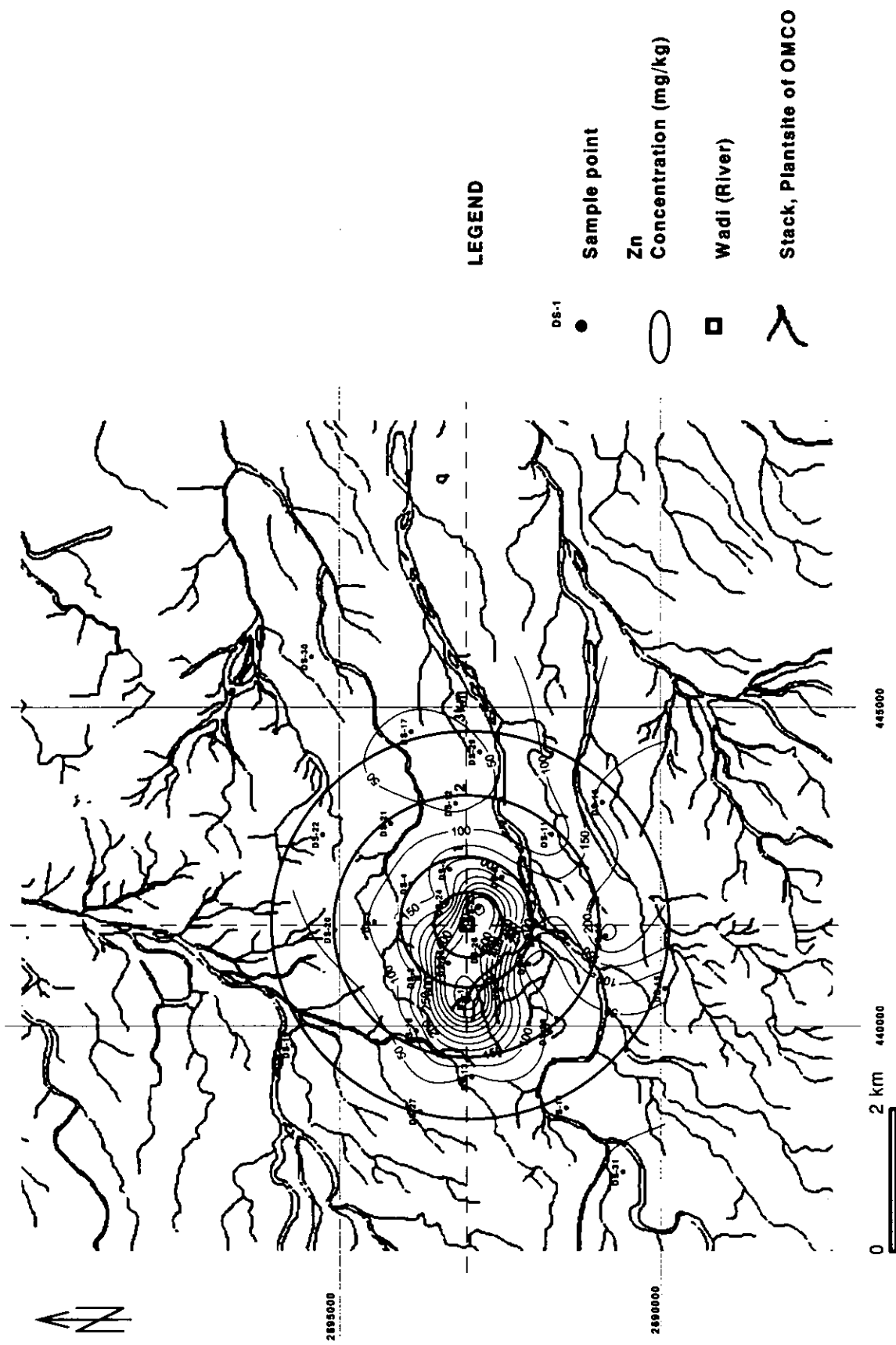
土壤成分濃度分布图 (10)



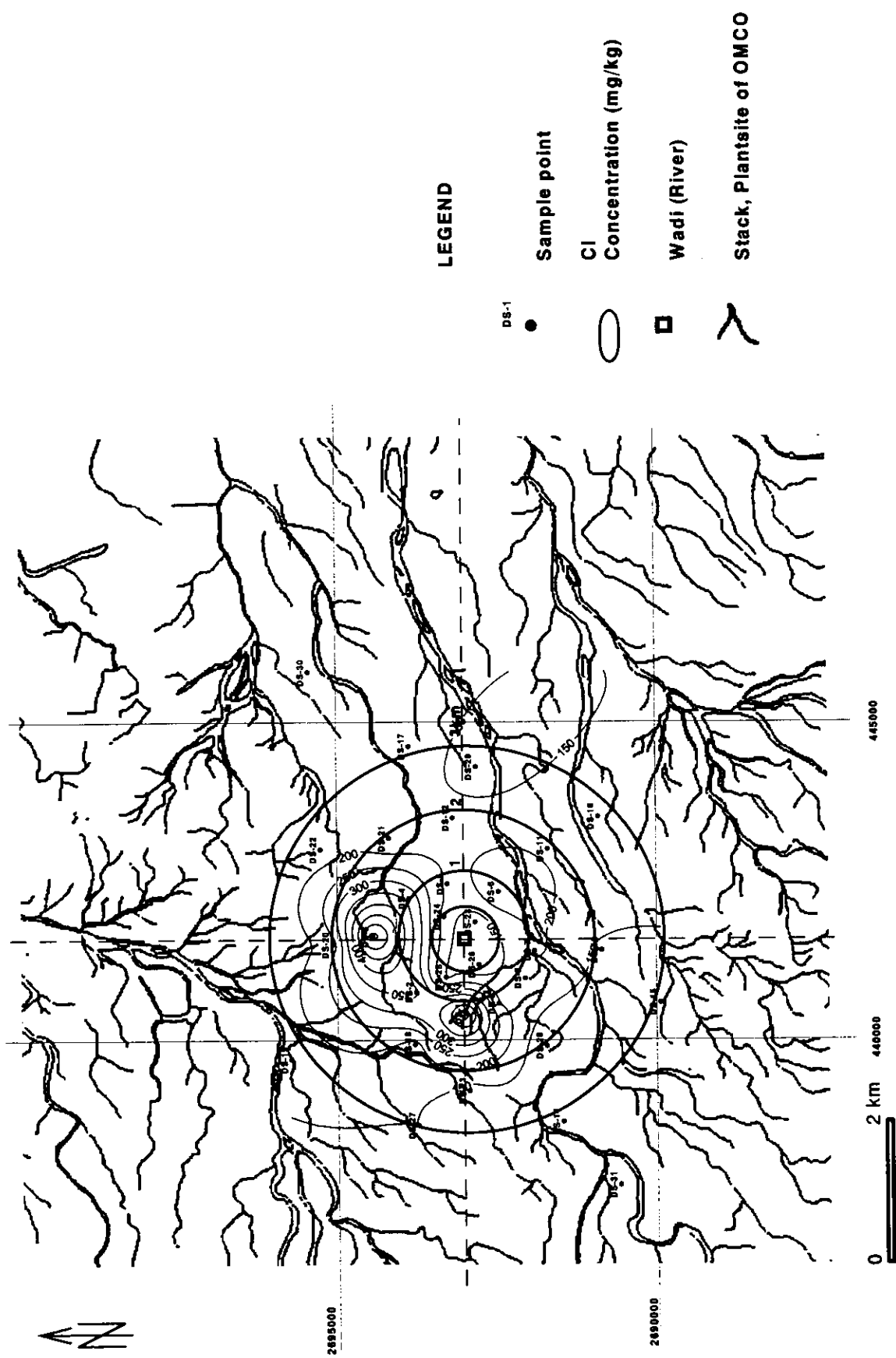
LEGEND

- DS-1 ● Sample point
- Sn Concentration (mg/kg)
- Wadi (River)
- ∧ Stack, Plantsite of OMCO

土壤成分濃度分布圖 (11)



土壤成分濃度分布図 (12)



土壤成分濃度分布図 (13)