

ナミビア国
スタンプリート地下水開発・管理計画調査

ファイナルレポート

和文要約

2002年3月

株式会社パシフィックコンサルタンツインターナショナル
三 祐 コ ン サ ル タ ン ツ 株 式 会 社

通貨換算率は 2002 年 2 月月間平均で以下の通りである。ナミビアドル (\$N) =南アフリカランド(Zar)= 日本円¥11.70= 米国ドル 0.0877

序 文

日本国政府は、ナミビア国の要請に基づき、同国のスタンプリート地下水開発・管理計画にかかる開発調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施いたしました。

当事業団は、平成 11 年 6 月から平成 14 年 3 月までの間、4 回にわたり株式会社パシフィックコンサルタンツインターナショナルの山崎安正氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

調査団は、ナミビア国政府関係者と協議を行なうとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成 14 年 3 月

国際協力事業団
総裁 川上 隆朗

伝 達 状

平成 14 年 3 月

国際協力事業団

総裁 川上 隆朗 殿

拝啓

ナミビア国におけるスタンプリート地下水盆開発・管理計画調査の報告書を提出いたします。本報告書は平成 11 年度から平成 13 年度にわたる調査結果をとりまとめたものであります。

本調査では、総数 19 本で合計 4,100m に達する試掘を含む現地調査を行い、スタンプリート地下水盆を構成する 3 層の帯水層を含めた水理地質構造の詳細を明らかにし、各帯水層の地下水ポテンシャルを評価しました。評価された地下水ポテンシャルは、現行の地下水揚水量に対して、その揚水が継続された場合約 30 年後には帯水層の一部において枯渇することが判明しました。このため、本調査の結論として、地下水盆の持続的開発のために必要な地下水管理計画を策定し提案しました。

本報告書の提出にあたり、調査団に対し多大な御支援を賜った貴事業団、外務省、在南アフリカ日本国大使館の諸賢、ナミビア国政府機関の関係各位、ならびに民間技術者の方々に対し、心から感謝の意を表しますとともに、提案しました地下水管理計画が、ナミビア国における最大の地下水盆であるスタンプリート地下水盆の将来に亘る安定的な開発・保全に寄与することを希望する次第です。

敬具

スタンプリート地下水盆開発・管理計画調査
調査団長 山崎 安正

概 要

調査の背景

南東カラハリ（スタンプリート）地下水盆（以後、「地下水盆」あるいは「調査地域」と呼称）はナミビア南東部に位置し、隣接するボツワナと南アフリカ共和国にかけて東方へ広がる国内最大の地下水盆である。

流域内の揚水は Water Act に定められた条例によって制限されているが、地下水盆西部の中心部分では大規模農地灌漑のために地下水の過剰揚水が行われている。1978 年に設置された観測井から得られたデータによると、地下水位は 1980 年から低下の一途をたどっている。

そこで、Department of Water Affairs (DWA) は 1986 年から 1988 年にかけてハイドロセンサスを行い、地下水の汲み上げのもたらす影響を調査した。現在では地下水利用は 1988 年時点の 2 倍近くに増加しているが、前述調査以来、地下水利用に関する調査はなされていない。



< 調査地域位置図 >

DWA はこの過剰揚水の管理のために、地下水盆全体の状況を把握する必要があった。これを受けて、ナミビア国政府は日本政府に対して、調査地域の地下水流動・涵養機構を明らかにし、持続可能な地下水開発のための地下水管理計画を策定する本調査の実施を要請した。本調査は、1999 年 6 月から 2002 年 3 月までの期間に実施された。

調査の目的

この調査の目的は以下の通りである。

- 南東カラハリ地下水盆の地下水流動システムと地下水涵養機構を調査すること。
- 持続可能な開発を行うための地下水ポテンシャルを評価すること。
- 南東カラハリ地下水盆の地下水管理計画を策定すること。
- 調査実施を通じてカウンターパート職員へ技術移転を行うこと

調査対象地域

調査対象地域は、巻頭に示された南東カラハリ地下水盆地約 71,000km²である。

結 論

1) 水理地質構造

カラハリ、アウオブ、ノソブ帯水層は、単純な単斜構造ではなく、かなり複雑な構造を呈している。この調査を通じて帯水層の再定義もなされた。（図 3-1 参照）

2) 帯水層ポテンシャル評価

アウオブ帯水層はもっとも高いポテンシャルを有し、カラハリ帯水層がそれに次いでいる。一方、ノソブ帯水層はもっとも低いポテンシャルを示している。（図 5-1 参照）

3) 地下水流動、涵養機構

a) 地下水流動

各帯水層の地下水は、北西から南東へ流動しており、帯水盆地を流下するのに数 1,000 年かかるものと思われる。（図 3-6 参照）

b) 涵養

帯水盆地への涵養の主体は、河川と帯水盆地の縁辺部にある石灰質シンクホール（ドリーネ）ばかりでなく、割れ目を潤す降雨によるものである。これらによりカラハリ帯水層への直接涵養は平年で $105 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 、50 年確率降雨年では $1,550 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ となる。アウオブ帯水層への涵養はカルクランド玄武岩、カラハリ帯水層を経由して行われるが、それは主に例外的な降雨の間だけである。一方、ノソブ帯水層への涵養は無視しうる程度であり、その地下水は化石水と考えられる。

4) 水収支

a) 平年では約平均 5 cm / 年のカラハリ地下水位の低下が継続し、50 年確率の大雨があった時でも涵養によって水位が回復するものの、現状においては低減傾向に歯止めは掛からない。

b) 地下水涵養量は平年で降雨の約 0.5% で、1/50 確率の大雨の年でも 3 % 程度であり、大半は蒸発散で失われている。涵養は大量の帰化植生によって阻害されているのでこの問題解決の

ために注意を払うべきである。

5) 地下水需要

- a) 帯水盆からの総地下水揚水量 1 5 百万 m^3 / 年の約半分 6 . 8 8 百万 m^3 / 年は灌漑用水で、そのうちの約 7 8 % はスタンプリート地区に集中している。(表 4-1, 図 4-1,4-2 参照)
- b) 帯水盆からの年間帯水層別地下水使用量は、カラハリ帯水層から 66%、アウオブ帯水層から 33% でノソブ帯水層からは僅か 1% である。

6) 地下水シミュレーション

- a) 地下水位の低下はスタンプリートを中心とした約 6 0 k m 四方の範囲に特に顕著である。(図 5-3 参照)
- b) 現状の揚水実態のままでは約 3 0 年後にスタンプリート地区でカラハリ帯水層が干上がる井戸が出てくる懸念がある。(図 5-2, 5-3, 図 5-2 参照) 現在の過剰揚水からすれば、7 章で述べられた水需要管理計画に必要な削減手法が適応されるべきである。

7) 地下水管理計画

a) 地下水需要管理

灌漑揚水を当面 3 0 % 削減することを目標に、その削減方法として以下の項目を提案した。

- i) 持続的地下水利用に関する啓蒙キャンペーンの開始。
- ii) 地下水揚水量の適切なモニターリング。
- iii) 地下水の適正配分のための許可条件を見直し。
- iv) 灌漑面積の削減。
- v) より価値の高い作物への転換。
- vi) 地下水使用者の自主的揚水削減。
- vii) 効率的灌漑方式の適用。
- viii) 地下水の有料化。

b) 帯水層管理

持続的な地下水利用のための帯水層管理を以下のように計画した。

- i) 図 7-1 に示されるように地下水盆全体をカバーする地下水モニターリング計画が策定された。地下水位を継続的にモニターして行くべきである。
- ii) また、スタンプリート周辺の約 9 0 k m 四方を特別地下水監視地域にするよう提案された。（図 7-1 参照）ここに 3 ヶ所の記録計付き観測井を追加すべきである。

c) 職員採用

本調査の継続ならびに本計画を実施してゆくために承認された DWA 人員を増やすべきである。

8) 環境初期評価

提案された地下水管理計画は、スタンプリート帯水盆の地下水ポテンシャルに対して、ポジティブに作用するので環境によい効果をもたらすことが期待される。

9) カウンターパート研修

本調査を通じてカウンターパートに対してオンザジョブトレーニングとして、各調査団員からそれぞれの分野に関する技術移転がなされた。また、カウンターパート機関の局長、副局長に対しては、日本でのカウンターパート研修を通じての技術移転もなされた。

8-2 勧告

- 1) このレポートは原則として受け入れられる。
- 2) 帯水層への平均涵養量は、将来のモニターリングとその見直しにもよるが $135 \times 10^6 \text{m}^3/\text{年}$ に限られる。
- 3) 7章で示した適正な帯水層管理計画を実行すべきである。
- 4) 限られた地下水資源利用がもたらす便益を最大化させるため、7-1 で提言されたように、灌漑用の地下水配分基準を調整する必要がある。
- 5) 現在の過剰揚水の実状からすると、レポートの 7-1 で述べられたように水需要管理計画の一環として需要抑制のためにすべての水利用者と協力して揚水削減対策をこの地下水盆で実施すべきである。そして地方水委員会がその主たる役割を担うべきである。
- 6) 井戸建設を改善し、既存の地下水揚水井戸からの漏水を減らすために更なる調査を実施しなければならない。地下水盆内で起こっている疑いのある地下水汚染を評価・対策し、被圧水頭の減圧を改善し、表流水の帯水層への涵養を促進させることにより一層の関心が払わなければならない。また、帰化植生の問題にも対処すべきである。
- 7) 本調査で用いられた技術と得られた数々の成果は、ナミビア国内における他の地下水盆の管理に生かされるべきである。

要 約

1. はじめに

1-1 調査の背景

南東カラハリ（スタンプリート）地下水盆（以後、「地下水盆」あるいは「調査地域」と呼称）はナミビア南東部に位置し、隣接するボツワナと南アフリカ共和国にかけて東方へ広がる国内最大の地下水盆である。

流域内の揚水は Water Act に定められた条例によって制限されているが、地下水盆西部の中心部分では大規模農地灌漑のために地下水の過剰揚水が行われている。1978 年に設置された観測井から得られたデータによると、地下水位は 1980 年から低下の一途をたどっている。

そこで、Department of Water Affairs (DWA) は 1986 年から 1988 年にかけてハイドロセンサスを行い、地下水の汲み上げのもたらす影響を調査した。現在では地下水利用は 1988 年時点の 2 倍近くに増加しているが、前述調査以来、地下水利用に関する調査はなされていない。



<図.1-1 調査地域位置図 >

DWA はこの過剰揚水の管理のために、地下水盆全体の状況を把握する必要があった。これを受けて、ナミビア国政府は日本政府に対して調査地域の地下水流動・涵養機構を明らかにし、持続可能な地下水開発のための地下水管理計画を策定する本調査の実施を要請した。本調査は、1999 年 6 月から 2002 年 3 月までの期間に行われた。

1-2 調査の目的

この調査の目的は以下の通りである。

- 南東カラハリ地下水盆の地下水流動システムと地下水涵養機構を調査すること。
- 持続可能な開発を行うための地下水ポテンシャルを評価すること
- 南東カラハリ地下水盆の地下水管理計画を策定すること
- 調査実施を通じてカウンターパート職員へ技術移転を行うこと

1-3 調査地域

調査対象地域は、巻頭に示された南東カラハリ地下水盆約 71,000km² である。

2. 調査地域概要

2-1 地形

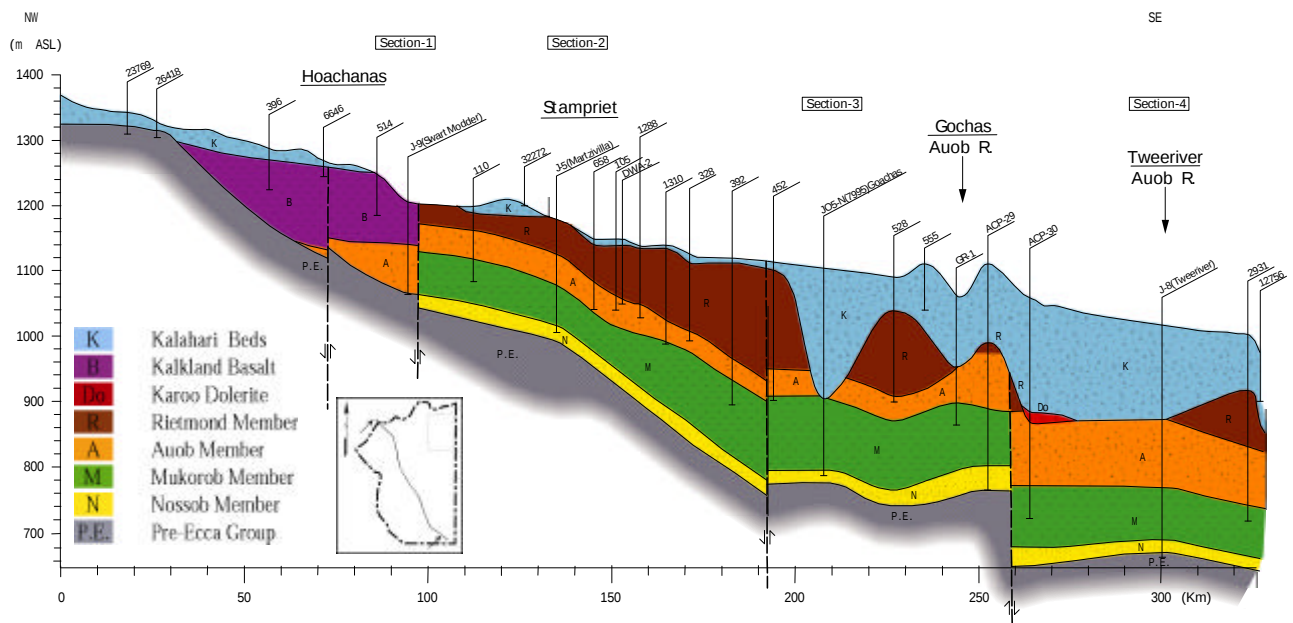
調査地域は、平均勾配 2/1000 の平坦な地形である。標高は 1600m から南東方向に 950m までの比高差を示すが、カラハリカルクリートが露出する大部分の地域は非常に平坦である。北部から中央部分にかけては、南北の季節風に沿って発達した典型的な大小の線上に延びる砂丘が見られる。

表面流出は大きく 2 区分される。表流水などを含む外部への流出とこの地方でパン Pan とよばれる内部排水であり、カラハリ層分布域に発達するシンクホールに顕著である。これらは大小の差はあるがほぼ一様に円形から楕円形を呈する。

2-2 地質

調査地域の水文地質学上の基盤は、Pre-Ecca Group、Damara Sequence、Nama Group、Dwyka Group で構成される。調査地域の主要な帯水層であるノソブおよびアウオブ層は、二畳紀初期（2 億 8000 万年前）に堆積した陸成層で構成されるプリンスアルバート累層に含まれる。

プリンスアルバート累層には、断層、ドレライト貫入岩や岩床が分布する。Mariental 北部には広く Kalkrand 玄武岩が形成されており、白亜紀の終わりに現世にかけて形成されたカラハリ層は浸食地形面である African Surface あるいは Pre-Kalahari Valley の上に堆積している。



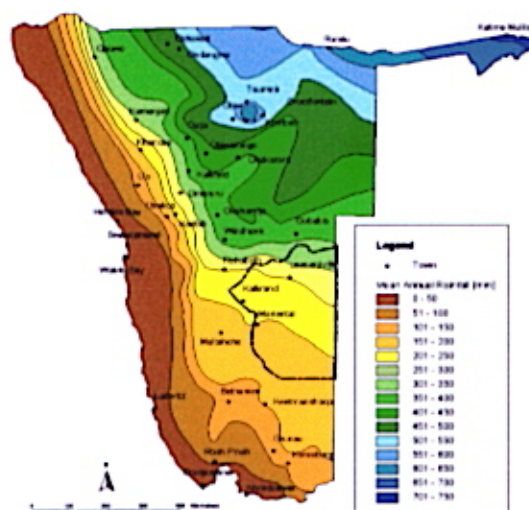
< 図 2-1 調査地域の地質 >

2-3 気象・水文

(1) 気象

ナミビアの気候区分は、亜熱帯から半乾燥帯、乾燥帯にまたがる。年間降水量は地域により 50 mm から 700 mm まで変化するが、大部分は 12 月下旬から 4 月中旬の間に降る。平均気温は 25°C で、乾期には最高気温は 40°C まで上昇し、冬期には零下を記録することがある。

ナミビアの平均降雨量の分布図は左図に示す通りであり、調査地域の年間降雨は概して 150 mm から 300 mm の範囲内である。



<図 2-2 ナミビアの平均年間降水量>

(2) 水文

調査地域は、ノソブ川（流域面積 $50,050\text{km}^2$ ）アウオブ川（流域面積 $74,081\text{km}^2$ ）の流域に位置する。両河川は雨期の短期間だけ流れる一時河川であり、流出係数は下表に示される通り、非常に小さい。

1999 年から 2000 年にかけての雨期に、調査地域では集中豪雨があった。この豪雨により、ノソブ川・アウオブ川の流量は激増し、河川水は南アフリカ共和国の国境まで到達した。ゴハス観測所では、平年の約 5 倍にあたる $4,300 \text{ m}^3$ の流量を記録した。



<図 2-3 調査地域の流域区分>

<表 2-1 調査地流域の流出係数>

River	Rainy Season	Month/Date	Total Observed Runoff ($\times 10^3 \text{ m}^3$)	Average Rainfall (mm)	Runoff Coefficient
Black Nossob	1985-86	3 - 9 Feb	122.6	36.8	0.00073
Black Nossob	1988-89	28 Jan - 14 Feb	178.4	177.2	0.00022
Auob	1983-84	2 - 12 Dec	141.8	20.0	0.0004
Auob	1983-84	25 Dec - 4 Jan	43,950.0	47.0	0.0487
Auob	1983-84	20 Mar - 21 Apr	4,021.0	65.0	0.0032
Auob	1990-91	1 - 11 Dec	553.7	36.0	0.0008
Auob	1990-91	15 Mar - 25	944.8	49.0	0.0010