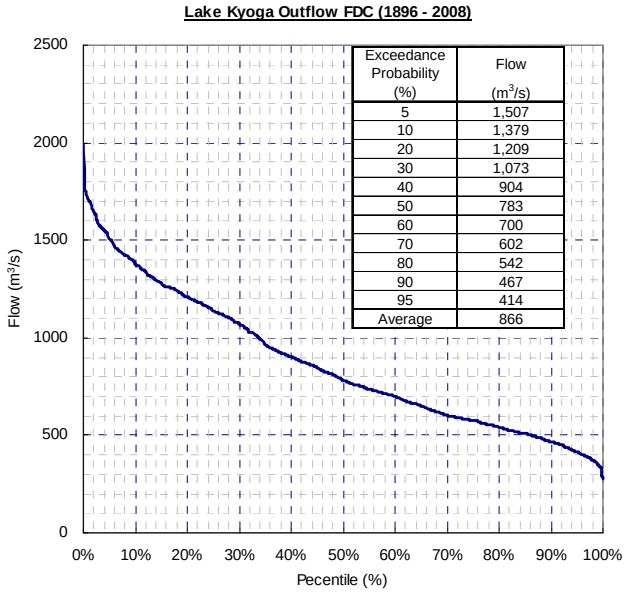
第７章　開発有望地点

第7章　開発有望地点

7.1　開発有望地点の流況

6.1.5 章に示す Kyoga 湖から下流におけるナイル川の流況表を再掲する。



Exceedance Probability (%)	Flow (m^3/s)
5	1,507
10	1,379
20	1,209
30	1,073
40	904
50	783
60	700
70	602
80	542
90	467
95	414
Average	866

(Source: Study Team)

Figure 7.1-1　Flow Duration Curve of the Lake Kyoga Outflow

上図に示す Kyoga 湖から Albert 湖までの流況は、6.1.6 章に述べるとおり残留域流入分が 1 % 未満に限られるため、この流況を Kyoga 湖から Albert 湖までのナイル川の流況としてみなす事が可能である。

よって、Kyoga 湖から Albert 湖のナイル川流況は Figure 7.1-1 の流況を採用する。

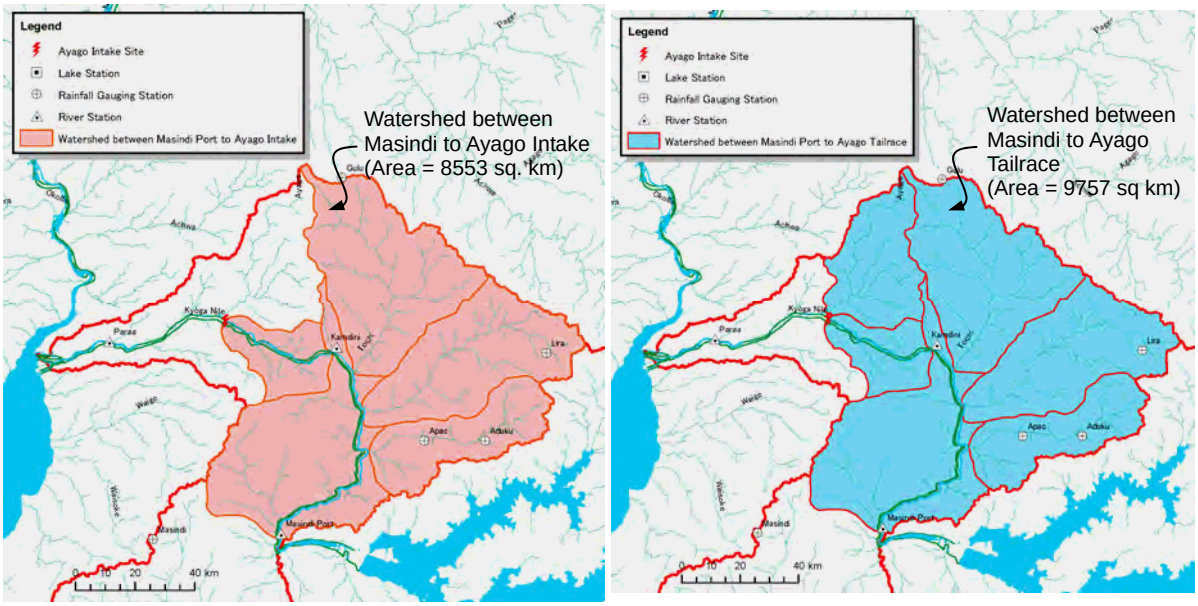
7.2　洪水流量

7.2.1　概要

本検討では Ayago 取水堰地点と放水口地点におけるナイル川の確率洪水流量を求める。ただし、本川と支川では洪水の継続時間などの特性が異なるため、洪水解析はナイル川本川と支川で分けて検討する。つまり、本川の洪水が長期に亘り継続することを考えれば、本川の洪水中に支川でも同時に洪水が発生することも有りうる。よって、洪水量の算定では本川と支川の洪水は同時生起で起こるものとし、それぞれの洪水流量を重ね合わせた合計を洪水流量とする。Ayago 取水堰地点は Masindi～Ayago 取水堰間の残留域流量の洪水と本川の洪水を重ねあわせ、Ayago 放水口地点はナイル川の洪水と Masindi～Ayago 放水口間の残留域からの洪水とを重ね合わせる。まとめると Ayago 取水堰と放水口における洪水の重ね合わせは以下のとおりとなる。

① Ayago 取水堰　：ナイル川本川 ＋ Masindi～Ayago 取水堰間残留域
② Ayago 放水口　：ナイル川本川 ＋ Masindi～Ayago 放水口間残留域

Masindi～Ayago 取水堰間残留域と Masindi～Ayago 放水口間残留域を Figure 7.2.1-1 に示す。



Masindi to Ayago Intake Intermediate Basin (red area)

Masindi to Ayago Outlet Intermediate Basin (blue area)

(Source: Study Team)

Figure 7.2.1-1　Thiessen Polygon and Rainfall Gauging Station

ナイル川本川は 100 年間ほどの流量データが利用可能ではあるが、支川の観測データが得られていないため、支川の洪水流量の算定では流出モデルに確率雨量を与えて洪水ピーク流量を算定する。流出モデルはタンクモデルを用い、既往洪水のハイドログラフと雨量データから係数を同定する。ただし、時間資料ではなく日資料しか得られないことから、ダブルチェックとして、簡易的な SCS 単位図法により概略的に洪水流量を算定し、さらにクリーガ曲線を用いて近隣のプロジェクトとの洪水流量の比較の上妥当性を検証する。

7.2.2　雨量データ

(1)　雨量観測所

Ayago 水力地点近傍にある降雨観測所は極めて少なく、本検討期間中で得られた雨量データは Gulu、Masindi、Aduku、Apac、Lira の 5 観測所の日データに限られる。本調査で収集された各観測所の雨量データを以下に示す。

Table 7.2.2-1　Collected Rainfall Data

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Gulu	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
Lira	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Aduku	●	–	–	○	–	○	○	○	–	–	–	○	○	●	●	–	–	–	–	–
Apach	○	○	–	–	○	○	○	●	●	–	–	–	●	–	–	●	–	–	–	–
Masindi	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	●	○	●	●	○	●	○	●

○ : complete daily data set　　- : data missing
● : daily data set with some missing data

(Source: Study Team)

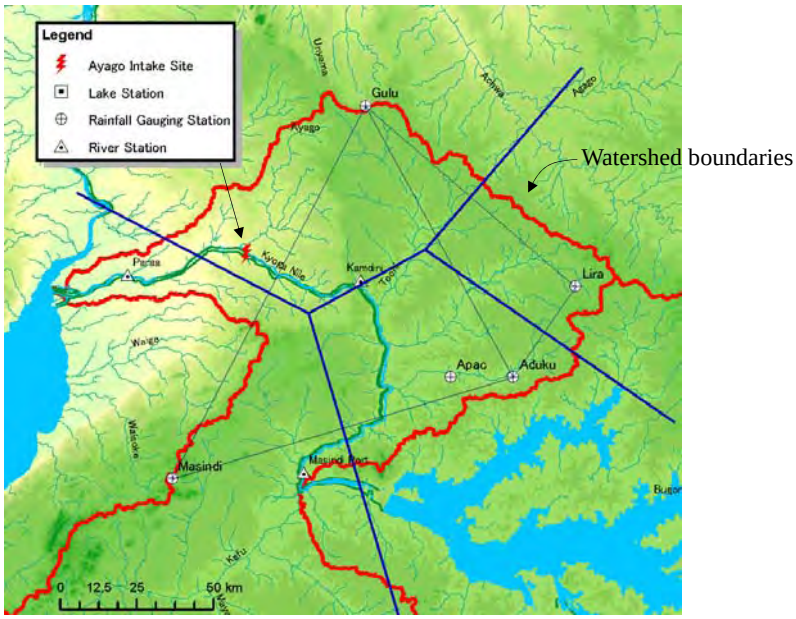
上表に示される雨量観測所データのうち、Gulu、Lira、Masindi は比較的にデータが揃っているが、Aduku、Apac は欠測資料が多い。

(2)　雨量データのチェック

収集した雨量データのうち、欠測データは各雨量観測所同士のデータ相関をチェックし、相関の高い観測所データを用いて線形回帰式から欠測データを補間した。欠測データを補間した後、各観測所の雨量データは、ダブルマスカーブによりデータの整合性をチェックした。その結果 Apac についてはデータの整合性が悪く、実測期間も短いことから検討から除外することとした。

(3)　ティーセン分割による雨量観測所受け持ち面積

各観測所位置図とティーセン法による流域分割図を以下に示す。



(Source: Study Team)

Figure 7.2.2-1　Thiessen Polygon and Rainfall Gauging Station

ティーセン分割による各観測所の受け持つ面積比は以下のとおりとなる。

Table 7.2.2-2　Area Factor of the Rainfall Gauging Station

Station	Factor
Gulu	0.262
Lira	0.184
Aduku	0.394
Masindi	0.159

(Source: Study Team)

(4)　日最大雨量

各雨量観測所の 1990 年から 2009 年までの日雨量データから日最大雨量を抽出する。また、全観測所の日ごとの平均値を算出し、その日最大雨量を抽出した。結果を下表に示す。

Table 7.2.2-3　Depth-Duration Analysis of Observed Rainfall

Unit: mm/day

Duration	Gulu	Lira	Aduku	Masindi	Basin Average Rainfall
1-Day	100	99	90	89	49
2-Day	109	104	98	104	68
3-Day	116	147	131	120	77
4-Day	147	148	156	121	82
5-Day	151	170	163	131	104
6-Day	167	174	166	140	112
7-Day	183	209	189	174	134

(Source: Study Team)

Masindi～Ayago 取水堰間の残留域の洪水と、Masindi～Ayago 放水口間の残留域の洪水の算定には、広範囲に及ぶため上表に示す４つの雨量観測所データの平均雨量を用いる。確率雨量は米国工兵隊の Engineering Manual(EM1110-2-1417: Flood-runoff Analysis)にならい、確率分布曲線として Log-Pearson Type III を適用する。

４つの雨量観測所平均値の年ごとの日最大雨量に確率分布曲線をあてはめ、得られた確率雨量とその超過確率および確率年を次表に示す。

Table 7.2.2-4　Probable Maximum Daily Rainfall at Gulu and Bain Rainfall

Return Period	Excess Probability	Computed Probability
(Year)	(%)	Basin Rainfall (mm/day) (Gulu, Lira, Aduku, Masindi)
1,000	0.1	59.8
500	0.2	58.0
200	0.5	55.5
100	1	53.5
50	2	51.4
20	5	48.3
10	10	45.8
5	20	42.8
2	50	37.7
1.25	80	33.1
1.11	90	30.9
1.05	95	29.1
1.01	99	26.1

(Source: Study Team)

7.2.3　流量データ

(1) 水位・流量観測所

DWRM はナイル川の Kyoga 湖から Albert 湖までの区間において Masindi Port、Kamdini、Paraa で水位観測を行っており、水位―流量曲線から流量データに換算している。流量データはエンテベにある DWRM に毎月まとめて送信される。調査団はこれら観測所の流量データを DWRM から入手した。調査団が収集したナイル川の流量データを以下に示す。

Table 7.2.3-1　Collected Discharge Data of the Nile River

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Masindi port	●	○	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Kamidini			●	●	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	●
Paraa			●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	●

○　: complete daily data set
●　: daily data set with some missing data

なお、流量データは日単位で計測（1,2 回/日）されているため、時間データは収集されていない。

(2) 洪水記録の抽出

Masindi～Ayago 取水堰間の洪水は、Ayago 取水堰地点と Masindi Port の流量資料の差分となるが、Ayago 取水堰地点における流量資料がないため、Paraa と Masindi Port の流量記録の差分をとった。Paraa と Masindi Port の流量記録差分から抽出された 1997 年から 2008 年までの洪水流量を Table 7.2.3-2 に示す。

Table 7.2.3-2　Observed Annual Maximum Direct Runoff

Year	Date	Flood direct runoff (m^3/s)
1997	07 Dec	200
1998	02 Oct	78
1999	22 Sep	60
2000	22 Oct	48
2001	29 Oct	159
2002	12 Nov	121
2003	10 Sep	78
2004	29 May	128
2005	07 Apr	53
2006	01 Nov	227
2007	15 Sep	176
2008	08 Nov	214

(Source: DWRM)

Table 7.2.3-1 より、洪水は概ね 9～12 月に発生しており、時には 4、5 月にも発生している事がわかる。しかし、Masindi Port から Paraa までの区間の洪水流量は最大で 227 m^3/s であり、ナイル川の河川規模に比べれば、小規模なものとなっている。

7.2.4　ナイル川本川の洪水流量の推定

ナイル川本川の洪水解析では Masindi Port における年ごとの最大流量を抽出し、確率分布曲線を用いて確率洪水流量を算定する。Masindi Port の観測資料は 1896 年から 2008 年の流量量を用い、確率分布曲線は米国工兵隊の Engineering Manual にならい Log-Pearson Type III を用いる。年最大流量と確率分布曲線のプロット図を以下に示す。なお、図の横軸が確率を示し、1%が 100 年確率、0.5%が 200 年確率、0.1%が 1,000 年確率を示している。

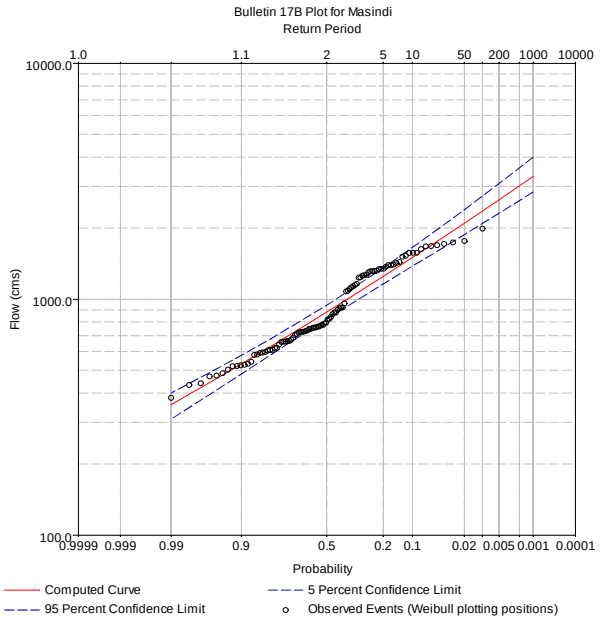


Figure 7.2.4-1　Annual Maximum Discharge and Log-Pearson Type III Curve for the Nile River Discharge at Masindi Port

上図より算定されるナイル川の 100 年、200 年と 1000 年の確率洪水流量は以下のとおりとなる。

100 年確率洪水流量　:　2,400 m^3/s

200 年確率洪水流量　:　2,650 m^3/s

1000 年確率洪水流量　:　3,400 m^3/s

7.2.5　ナイル川支川の洪水流量の推定

(1) タンクモデルによる推定

1) 概要

1972 年に菅原により考案されたタンクモデルは、流域の土壌をいくつかの貯留型のタンクに見立て、土壌の浸透と流出を再現させた流出計算法である。タンクモデルでは一つのタンクに下層への浸透孔と流出孔を持ち、下層のタンクほど基底流などの長期的な流出を再現する。ナイル川のように河道が大きく、河川の貯留効果が期待できる場合は、各タンクの流出高合計を河道タンクに貯留させ、河道タンクからの流出高をその流域からの流出高とする。タンクモデル概念図を以下に示す。

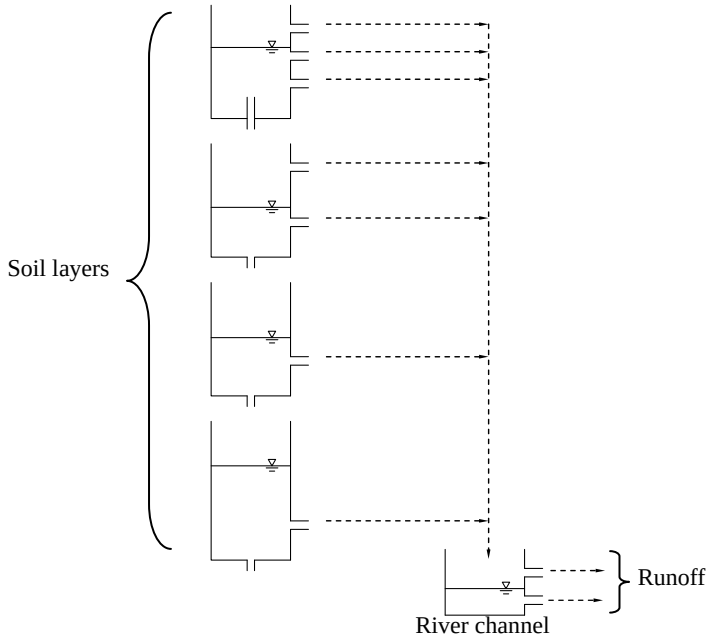


Figure 7.2.5-1　Conceptual Model of the Tank Model

タンクモデルの係数はこれら各タンクの流出孔と浸透孔からなり、本検討ではこれらタンクモデルの係数を実績洪水から同定し、Masindi～Ayago 取水堰間と Masindi～Ayago 放水口間の洪水量を日雨量データから推定した。

2) タンクモデルの係数の同定

タンクモデルの係数の同定では、雨量データと流量データの時期が合致する 1997 年以降を対象に、日最大雨量が発生している日付の前後約 1 週間の流量を入力し、実績洪水のハイドログラフに合うように係数を同定した。

3) タンクモデルによる推定

前項で求めたタンクモデルの係数を基に、流域平均の実績日雨量に対し洪水流量を求める。流域平均雨量は Ayago 取水堰地点と Ayago 放水口地点の洪水流量の算定に用い、残留域流量からの洪水記録がない 1990 年から 1996 年を推定する。以下にタンクモデルに使用する日降雨データのピーク値とその日付を示す。

Table 7.2.5-1 Observed Daily Maximum Rainfall

Year	Date	Daily Maximum Rainfall (mm/day)
1990	10 Dec	35.5
1991	06 Aug	29.1
1992	29 Sep	40.8
1993	11 Jun	41.2
1994	03 Nov	31.0
1995	06 Nov	30.3
1996	22 Aug	38.9

(Source: Study Team)

Table 7.2.5-1 の降雨が発生した付近のデータを用いてタンクモデルによる推定を行う。Table 7.2.5-1 の雨量をタンクモデルに適用した時のピーク流量を Table 7.2.5-2 に示す。

Table 7.2.5-2 Yearly Peak Flood Discharge Estimated by Tank Model

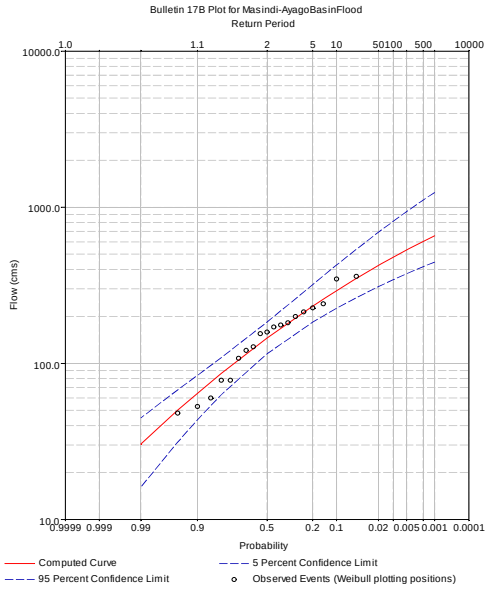
Unit: m3/s

Date	Intermediate Masindi ~ Ayago Intake	Intermediate Masindi ~ Ayago Outlet
1990	347	399
1991	155	178
1992	171	197
1993	241	278
1994	182	210
1995	111	127
1996	361	415

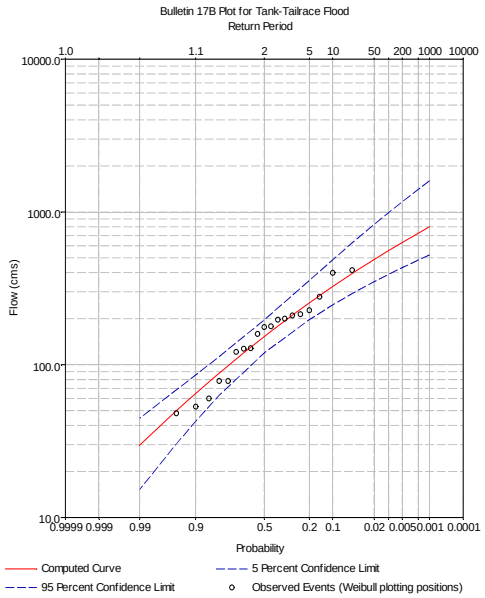
(Source: Study Team)

4) 洪水ピーク流量

前述で得られた洪水ピーク流量と 1997 年以降の年最大既往洪水資料を合わせて確率処理し、100 年および 200 年、1000 年確率のピーク流量を算定する。確率分布曲線は Log-pearson Type III とする。Masindi から Ayago 取水堰と放水口の洪水確率分布曲線を Figure 7.2.5-2 に示す。



Masindi ~ Ayago Intake



Masindi ~ AyagoOutlet

Figure 7.2.5-2　Flood Peak and Probability Distribution Curve

上表の確率分布曲線より、Masindi~Ayago 堰間残留域と Masindi~Ayago 放水口間残留域の確率洪水流量は以下のとおりとなる。

Table 7.2.5-3　Local Flood from the Ayago River and Intermediate Basin from Masindi to Ayago Intake, Estimated by Tank Model

	Return Period		
	100 year	200 year	1000 year
Masindi ~ Ayago Intake	500 m^3/s	550 m^3/s	700 m^3/s
Masindi ~ Ayago Outlet	600 m^3/s	650 m^3/s	800 m^3/s

(Source: Study Team)

(2)　他手法によるピーク洪水流量の確認

－　SCS 単位図法

タンクモデルにより算定された洪水流量の確認のため、SCS 単位図法により洪水流量の算定を行う。SCS 単位図法は 1972 年に U.S. Soil Conservation Service が紹介したモデルで、Figure 7.2.5-3 に示す標準的な単位図を用い、洪水継続時間、総雨量、土壌成分および土地利用データを与えて洪水流量の推定を行う。同手法では既に与えられている単位図を用いるため、流量データの得られていない流域の洪水流量の推定等の概略検討に用いられる。

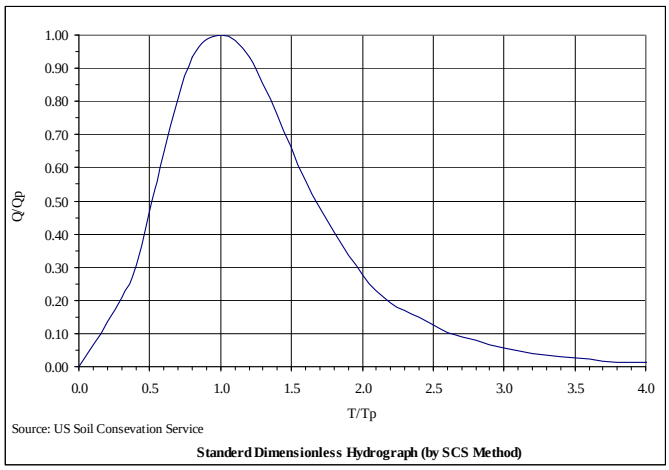


Figure 7.2.5-3　Standard Dimensionless Hydrograph by SCS Method

SCS 単位図法による算定では、Masindi～Ayago 取水堰間の流域を小流域ごとに分割し、ティーセン分割により確率雨量を分配する。Kyoga 湖から Albert 湖までの流域分割図を以下に示す。

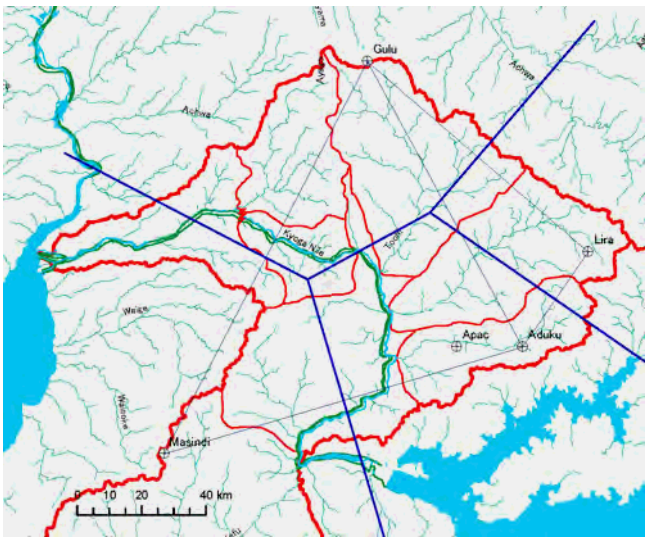
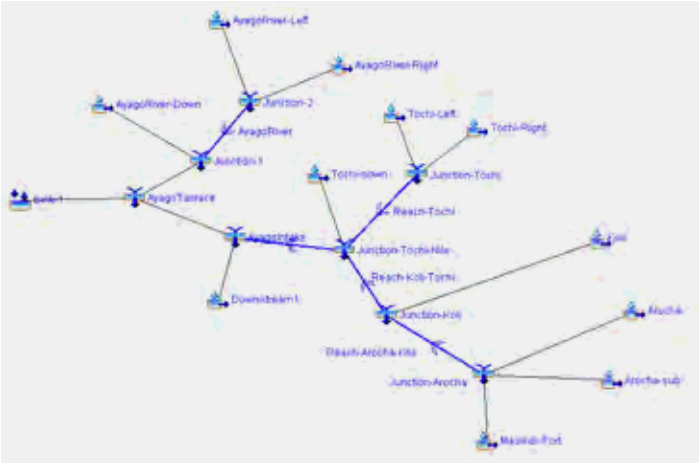


Figure 7.2.5-4　River Basin Division for SCS Unit Hydrograph Analysis

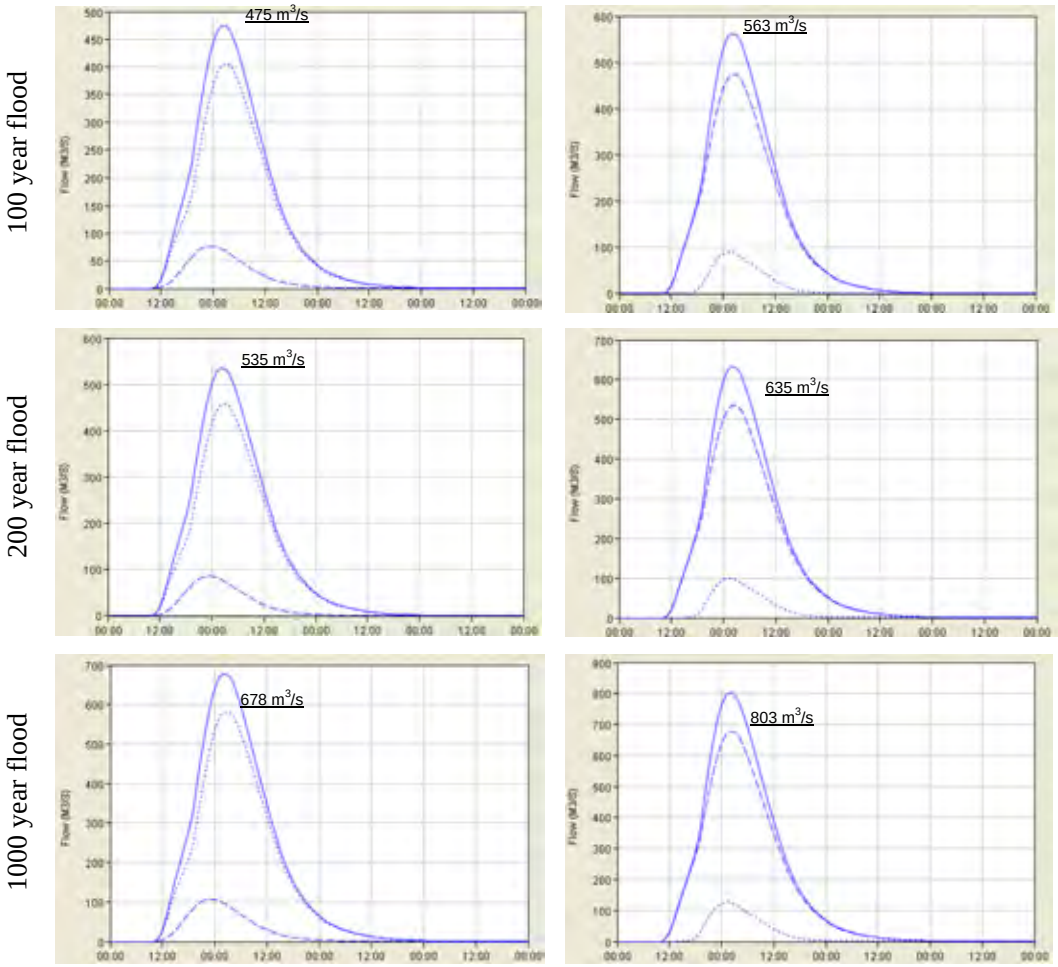
SCS 単位図法による解析は U.S. Army Corps of Engineers により開発された水文解析ソフト HEC-HMS を用いた。HEC-HMS による Masindi~Ayago 堰間流域と Masindi～Ayago 放水口間流域のモデルを示す。



(Source: Study Team)

Figure 7.2.5-5　River Basin Model by HEC-HMS

HEC-HMS のモデルに、流域の 100 年、200 年および 1000 年の確率雨量をティーセン分割により分配し、解析を行った。解析結果を以下に示す。



Ayago Intake　　Ayago Tailrace

(Source: Study Team)

Figure 7.2.5-6　Flood Hydrograph Estimated by SCS Unit Hydrograph

上図に示す HEC-HMS を用いて算定される洪水ピーク流量は以下のとおりとなる。

Table 7.2.5-4 Local Flood from the Ayago River and Intermediate Basin from Masindi to Ayago Intake, Estimated by SCS Unit Hydrograph

	Return Period		
	100 year	200 year	1,000 year
Masindi ~ Ayago Intake	475 m^3/s	535 m^3/s	678 m^3/s
Masindi ~ Ayago Tailrace	563 m^3/s	635 m^3/s	803 m^3/s

(Source: Study Team)

本検討では、利用可能なデータが限られているため SCS 単位図法を用いたが、結果としてタンクモデルを基に算定したピーク流量と同程度の結果を与える。

(3) クリーガ曲線によるチェック

洪水ピーク流量は単位流域面積あたりの比流量に変換し、近隣の事業のピーク洪水流量の比流量値と共にプロットする。洪水比流量は次式で表されるクリーガ曲線で包絡線を描き、近隣事業の洪水流量と比較する。

$$Q_p = 0.503 \times \mathrm{C} \times \left(\frac{\mathrm{A}}{2.59}\right)^{\mathrm{a}}$$

$$\mathrm{a} = 0.894 \times \left(\frac{A}{2.59}\right)^{-0.048} - 1$$

ここに、

Q_p : 洪水ピーク流量 [$m^3/sec/km^2$]
C : Creager の係数
A : 流域面積 [km^2]

洪水比流量のプロットとクリーガ曲線を以下に示す。なお、近隣の事業としてはウガンダ国内の河川・水資源開発関連の事業が少ないため、近隣のタンザニアやケニアのプロジェクトの洪水流量を参照した。

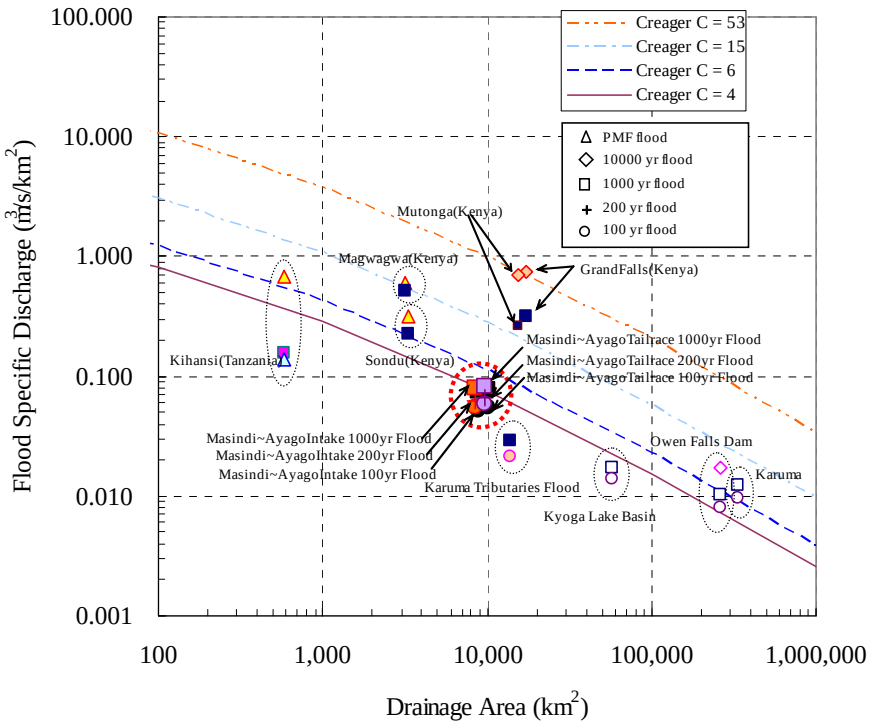


Figure 7.2.5-7　Creager's Curve of Flood Discharge

Figure 7.2.5-7 では、クリーガの係数 C を変化させた曲線も示す。本検討で算定された Masindi～Ayago 取水堰と Masindi～Ayago 放水口における洪水流量はクリーガの係数 C の値は 4 ほどであり、比較的小さな値となっている。しかし、他のプロジェクトもほぼ同様に低いクリーガ曲線にのっており、本検討で算出された洪水ピーク流量が特別に低い値ではないことが分かる。

(4)　まとめ

本検討では、タンクモデルを用いて実績日雨量と日流量から洪水ピーク流量を推定した。推定結果は SCS 単位図法による概略推定値と、クリーガ曲線により周辺地域の洪水流量と比較を行った。その結果、SCS 単位図法による結果は、タンクモデルによる推定値の推定値と概ね同程度であり、クリーガ曲線による比較でも周辺地域の洪水ピーク比流量と同じような傾向となった。よって、本検討ではナイル川支川の洪水ピーク流量はタンクモデルにより推定した値を用いることとする。

7.2.6　Ayago取水堰とAyago放水口地点の洪水流量の推定まとめ

前述のとおり、Ayago 取水堰地点と放水口地点の洪水ピーク流量は、ナイル川本川と支川を重ね合わせて考えた。それぞれの重ね合わせは以下のとおりとなる。

① Ayago 取水堰 ： ナイル川本川 ＋ Masindi～Ayago 取水堰間残留域
② Ayago 放水口 ： ナイル川本川 ＋ Masindi～Ayago 放水口間残留域

これら、洪水の組み合わせは 100 年、200 年、1000 年の確率年において、以下のとおり算定される。

Table 7.2.6-1 Combination of Floods

No		Return Period			Notes
		100 year	200 year	1,000 year	
1)	The Nile River	2,400 m^3/s	2,650 m^3/s	3,400 m^3/s	At Masindi Port
2)	Masindi~Ayago Intake Local Flood	500 m^3/s	550 m^3/s	700 m^3/s	Masindi-Ayago Intake Intermediate basin
3)	Ayago Intake	2,900 m^3/s	3,200 m^3/s	4,100 m^3/s	1) + 2)
4)	Masindi~Ayago Tailrace Local Flood	600 m^3/s	650 m^3/s	800 m^3/s	Masindi-Ayago Tailrace Intermediate basin
5)	Ayago Outlet	3,000 m^3/s	3,300 m^3/s	4,200 m^3/s	1) + 4)

(Source: Study Team)

これより、Ayago 取水堰と Ayago 放流口における各洪水流量は以下のとおりとなる。

Table 7.2.6-2 Applied Flood for Ayago Intake and Tailrace

	Return Period		
	100 year	200 year	1,000 year
Ayago Intake	2,900 m^3/s	3,200 m^3/s	4,100 m^3/s
Ayago Outlet	3,000 m^3/s	3,300 m^3/s	4,200 m^3/s

(Source: Study Team)

7.2.7 洪水解析の課題

アメリカ工兵隊の洪水解析マニュアル（U.S. Army Corps of Engineer, ”Flood-Runoff Analysis”）では、理想的な雨量観測所の数が示されている。本洪水解析で検討したように流域面積が約 9000 平方キロある場合は、マニュアルによれば必要雨量観測所数は 10 箇所以上となる。本検討では利用可能な観測所は 5 箇所に限られ、そのうちの 1 箇所はデータの整合が良くないため除かれ、実質 4 箇所の観測所データを用いて解析を行った。精度のよい洪水流量を推定するためには、最低でも倍以上の観測所が必要と考える。

また、Kyoga 湖から Albert 湖までナイル川は延長 200km 以上あるが、流量データは Masindi、Kamdini、Paraa の 3 箇所のみでしか得られていない。流量観測所の数も現在の倍以上は必要であり、かつ支川流域の流出特性を把握するため支川の流量観測を実施する必要がある。現在は、流量データの計測間隔は日毎であるが、例えば支川の場合は短時間で流出することが多いため、時間毎に計測する事が望ましい。本検討では、時間データが得られてないため日データのみを使用したが、支川の時間ごとの計測結果によっては本検討で得られた洪水ピーク流量を大きく上回る可能性もある。

今後はナイル川と支川の時間毎の水位観測を実施し、Ayago 地点近傍における雨量観測所を増やす事が望まれる。

7.3 地形・地質

7.3.1 Ayago地点の地形・地質

(1) 地形

ナイル川の河床幅は 200m～300m程度で、流路には小島が点在する。取水口地点から放水口地点の間には、5~6 段の小滝があり、所々河床部には岩盤が露出している。河川両岸は 15～25 度の斜面となっており、河床からの比高 20～30m以上では傾斜 5～10 度の緩い台地を呈している。取水堰から約 3.3 ㎞下流の右岸に Ayago 川が合流している。

(2) 地質

Ayago 地点の地質概要は以下のとおり。

基盤は、先カンブリア紀の黒雲母片麻岩を主体とし、花崗岩質片麻岩、クォーツァイト、角閃岩等の変成岩が帯状に挟在して分布する。

段丘堆積物、崖錐堆積物、現河床堆積物等の未固結堆積物は、河川沿いに薄く分布するのみである。

土壌は熱帯性の赤土と、珪岩が風化した砂質土からなり、表層から 1m程度は、有機質で、暗灰色を呈することが多い。土壌は、一般に薄く 2~3m 程度と想定される。

トンネル路線沿いは風化により露頭が少なく、また、古い時代の構造運動により複雑に褶曲しているため、詳細な地質構造は明らかではないが、片麻岩の構造は一般に NW-SE に走向を持ち、放水路付近では 30～50 度程度 NE 側へ傾斜し、発電所付近では NE または SW に急傾斜している。

比較的明瞭な NE-SW 系のリニアメントが放水口付近に分布しており、断層等の地質境界が推定される。なお、Ayago 地点付近では、活断層等の活構造は認められていない。

構造物に影響を及ぼすような地すべりは、認められない。

7.3.2 現地再委託調査結果

(1) 地形（航空写真測量）測量

1) 調査項目および数量

Ayago 地点に対して下記に示す地形測量業務を現地再委託により実施した。調査数量を Table 7.3.2-1、測量範囲を Figure 7.3.2-1 に示す。

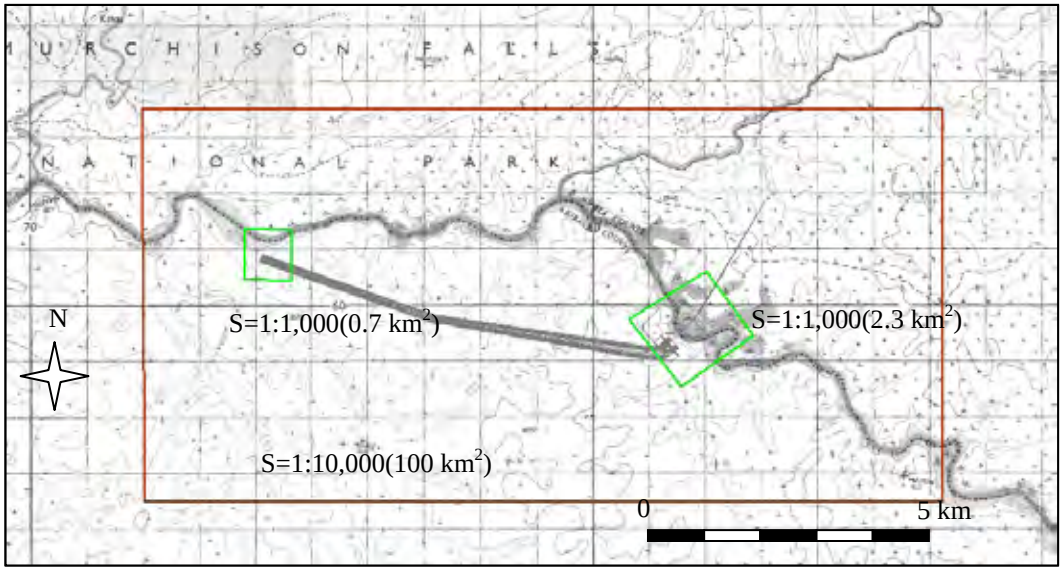
- 航空写真測量により 1/10,000（等高線間隔 5m）地形図（アクセス道路や周辺関連施設などプロジェクト地域の範囲）の作成

– 1/1,000（等高線間隔 1m）地形図（主要構造物設置の範囲）の作成
– 河川横断測量

Table 7.3.2-1 Topographic Survey

Items	Area	Quantity
i) Topographic mapping scale 1:10,000 (5m contour interval)	Whole project area covering access roads, intake weir site, reservoir area, power station site, outlet site and temporary construction structure site etc.	100km^2
ii) Topographic mapping scale 1:1,000 (1m contour interval)	Main structures including intake weir, powerhouse etc.	3km^2
iii) River/Land cross-section survey	18 sections, 0.6km ~1.0 km in length	18 sections

(Source: Study Team)



(Source: Study Team)

Figure 7.3.2-1 Topographic Survey Area

2) 測量結果

成果を、Appendix B: Topography にまとめる。

(2) 地質調査

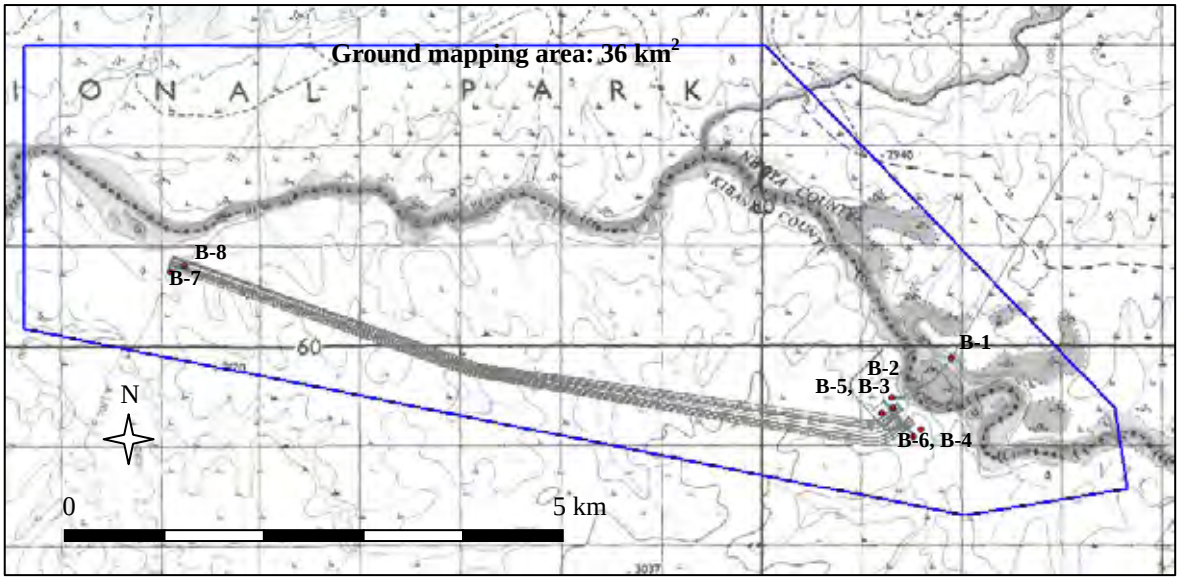
1) 調査項目および数量

Ayago 地点に対して、地表踏査による地質調査、航空写真判読、ボーリング調査、室内岩石試験およびコンクリート骨材物性試験調査等、Table 7.3.2-2 に示す地質調査業務を現地再委託により実施した。調査位置を Figure 7.3.2-2 に示す。

Table 7.3.2-2 Geological Investigation

Items	Area	Quantity
i) Ground mapping	Use of topographic mapping scale 1:10,000, for main structures	36 km^2
ii) Aerial-photo interpretation	Use of aerial-photos for the 1:10,000 topographic maps	100 km^2
iii) Core drilling	Underground hydropower station: 100m Intake weir site, channel etc. 20 m-30m permeability test	2 holes (200 m in total) 6 holes (150 m in total) 46 nos.
iv) Laboratory tests	Specific gravity, absorption and unconfined compressive strength	20 samples
v) Construction material survey	Construction material survey, and laboratory tests (soundness test, abrasion test and alkali reactivity test)	L.S. 1

(Source: Study Team)



(Source: Study Team)

Figure 7.3.2-2 Location Map of Geological Investigation

2) 地表踏査結果

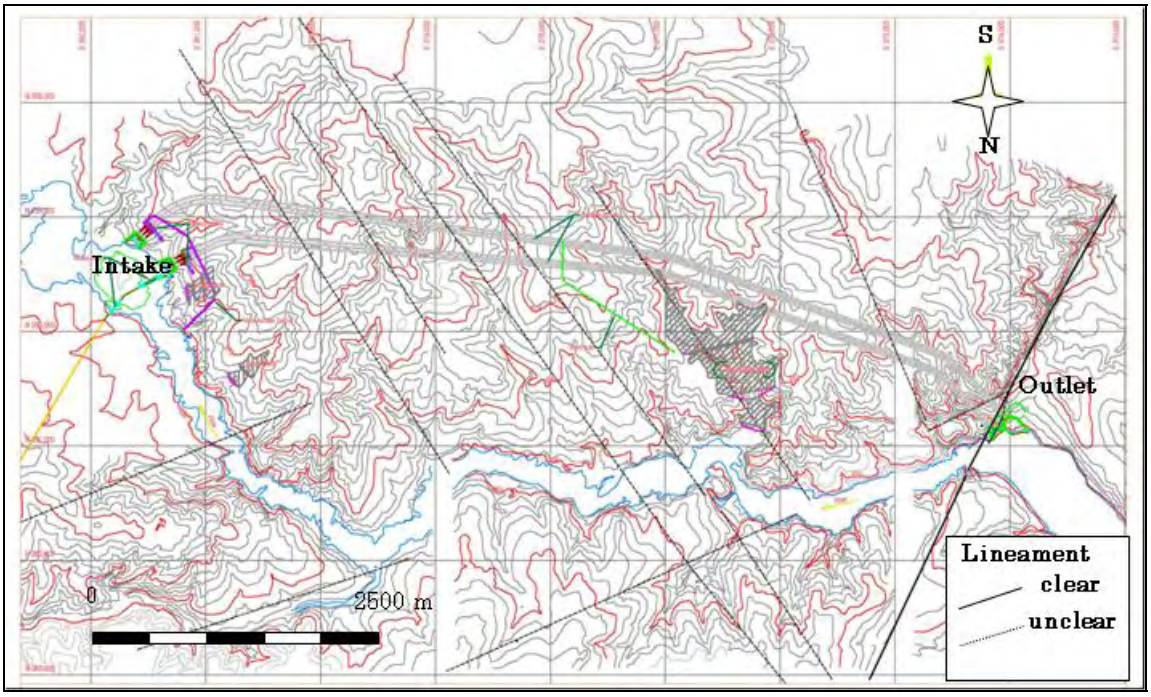
再委託で実施した踏査結果によると、Ayago 地点は片麻岩を主体とする基礎からなり、クォーツァイトを挟んでいる。構造および主要節理の方向は以下のとおり。なお、踏査からは断層破砕帯は認められなかった。

- Foliation: 30-50/050 to 070 (dip/dip direction)
- Major joint sets: 60-80/190 to 210 and 70-85/350-010 (dip/dip direction)
- Minor joint set: 40-60/310 to 330 (dip/dip direction)

3) 航空写真判読結果

航空写真判読結果を Figure 7.3.2-3 に示す。放水口付近に明瞭な NE-SW 系のリニアメン

トがある。また、不明瞭ではあるが、ENE-WSW 系および SW-NE 系の谷や鞍部の連続が認められる。これらは、弱層もしくは地層境界による硬軟の違いによる差別浸食等が地形に現れたと考えられる。



(Source: Study Team)

Figure 7.3.2-3　Results of Aerial Photo Interpretation

4)　ボーリング調査結果

再委託業務で実施したボーリングコアを観察し、地質および岩盤状況を確認した。岩級分類は電研式（田中 1964）に基づいて実施した（Table7.3.2-3 参照）。ボーリング柱状図、コア写真は、Appendix C: Geology にまとめる。各ボーリングのコア観察結果を Table 7.3.2-3 に示す。また、典型的な岩盤のコア写真を Table 7.3.2-4 に示す。

Table 7.3.2-3 Results of Core Observation

Drill hole	Depth (m)	Geology	Depth (m)	Rock condition	Permeability and Groundwater level
B-1	0-1 1-25	residual soil biotite gneiss (20.6-20.8 quartz vein)	0-6 6-11 11-19 19-25	D CL CM CH	5-25 m 2.3-0.9 Lu Water level 13.9 m
B-2	0-3.6 3.6-25	residual soil biotite gneiss	0-3.6 3.6-12 12-25	D CM CH	0-20 m 1.5-0.6 Lu Water level 9.0 m
B-3	0-2 2-25	residual soil biotite gneiss	0-5 5-9.7 9.7-20.4 20.4-25	D CL CM CH	No Lugeon test data Water level 15.2 m
B-4	0-0.4 0.4-15 15-20	residual soil quartzite (11.6-12 basic rock) basic rock/quartz	0-0.4 0.4-8.6 8.6-13 13-20	D CL CM CH	No Lugeon test data Water level 11.3 m
B-5	0-2.2 2.2-115	residual soil biotite gneiss (quartz veins) (38.5-40.8 basic rock/quartz vein, 100.3-101 fracture zone of 60 degrees)	0-5 5-9.5 9.5-13.5 13.5-115	D CL CM CH-B (100.3-101 CL, 101-103.6 CM)	10-25m 2.4-1.0 Lu 25-115 m 0-0.1 Lu Water level 23.2 m
B-6	0-1 1-100	residual soil garnet biotite gneiss (quartz veins) (12-12.8 basic rock, 39-41 quartz, 53.5-55 felsic gneiss, 80-85 felsic gneiss, 88-90 quartz)	0-3.8 3.8-5 5-10 10-17.8 17.8-100	D CL CM CH B	10-20 m 1.8-1.5 Lu 20-55 m 0.9-0.1 Lu 55-100 m less than 0.1 Lu Water level 17.6 m
B-7	0-1 1-25	residual soil biotite gneiss	0-5.2 5.2-25	D CL	No Lugeon test data Water level 20.2 m
B-8	0-1 1-2 2-10 10-20	residual soil biotite gneiss felsic gneiss (5.5-5.6 quartz, 8.2-8.7 quartz) biotite gneiss	0-2 2-9 9-20	D CL CM	No Lugeon test data Water level 11.7 m

(Source: Study Team)

Note: Water level in each drill hole section is depth of water surface immediately after completion of drilling.

Table 7.3.2-4　Typical Rock Classification Faces

Class	Drilling Core Photographs	Geological Condition
B		**B-6　45 m-50 m** **Drilling Core Condition** Fresh and hard Crack spacing larger than 50 cm Cracks are closely adhered, no deterioration nor discoloration. **Outcrop Condition** The rock mass is solid. There is no opening joint and crack.
CH		**B-3　20.4 m-25 m** **Drilling Core Condition** Relatively hard Crack spacing about 30-50cm Limonite adhered along cracks **Outcrop Condition** The rock mass is relatively solid. The rock forming minerals and grains undergo slightly weathering except for quartz. The rock is contaminated by limonite etc.
CM		**B-1　11 m-15 m** **Drilling Core Condition** Somewhat soft Crack spacing about 10-30 cm Thin clay is sandwiched along the opening. **Outcrop Condition** The rock mass is somewhat soft. The rock forming minerals and grains are somewhat softened by weathering, expect for quartz.
CL		**B-7　5 m-10 m** **Drilling Core Condition** Soft rock fragments with clayey to sandy materials Crack spacing smaller than 10 cm in general **Outcrop Condition** The rock is soft. The rock forming minerals and grains are softened by weathering.
D		**B-3　0 m-5 m** **Drilling Core Condition** Clayey and sandy materials with soft rock fragments **Outcrop Condition** The rock mass is remarkably soft. The rock forming minerals and grains are softened by weathering.

5)　室内試験結果

各試験結果は、Appendix C に示す。Table 7.3.2-5 はボーリングコアサンプルで実施した試験をまとめたものである。なお、密度試験値 B-5 および B-6 は異常に高いため省いている。

一軸圧縮試験結果が、予想より小さい値であった。これは、試験で実施したサンプルの

多くは、黒雲母片麻岩であり、片理の傾きが 60 度前後のものが多いため、片理沿いに分離しやすかったことが大きな理由として考えられる。また、試験時の整形の影響も考えられる。岩盤の力学定数の設定にあたっては、こうした岩盤の異方性を考慮する必要がある。

Table 7.3.2-5 Results of Laboratory Tests

Laboratory test		Sample	Average	max.	min.
Water absorption	%	20	0.14	0.61	0.05
Bulk density	g/cm^3	5	2.84	2.88	2.75
UCS	MPa	20	31.7	56.59	10.61
Soundness	%	1	1.5		
Abrasion	%	1	40		
Alkali Reactivity		1	innocuous		

(Source: Study Team)

6) ナイル川水位観測

取水堰および放水口付近に Staff gauge を設置し、2 ヶ月間(8/15~10/13)の観測を行った。調査結果は Appendix C 参照。

7.3.3 各施設付近の地質

本調査から判断される各施設付近の地質状況および地質工学性および F/S での留意点を以下で述べる。

(1) 取水堰

1) 地質

河床両岸には堅硬な黒雲母片麻岩が露頭しており、両岸ともに崖錐堆積物等の未固結層は薄い。基礎岩盤の一般地質構造は NW-SE 走向で NE または SW に急傾斜している。河床部は流水により詳細は不明であるが、河床砂礫はほとんど分布していない。

2) 地質工学的評価

河床部は緩み部の除去程度、両岸部は数m程度の掘削で、堅硬な片麻岩が出現すると予想される。基礎岩盤の水密性は良好であり、両アバットのボーリングでは 5m以深では概ね 2Lu 以下の難透水性を示す。F/S では、追加ボーリングと透水試験を実施し、基盤岩の深度および透水基盤の状況を広範囲に把握し、堤位置の最適化を行う必要がある。

(2) 取水口

1) 地質

ボーリング調査によると、坑口付近の地質は、発電所 No.1（下流側）では黒雲母片麻岩、発電所 No.2（上流側）ではクォーツァトから構成される。表土の厚さはそれぞれ約 5m 、約 1m。地すべり地は認められない。

2) 地質工学的評価

表土が薄く 5m 以内で着岩し、10m以深では堅硬な岩盤(CM 級以上)が分布すると推定される（Figure 7.3.3-1 参照）。掘削面の安定勾配は、本邦の実績から以下のように推定される。

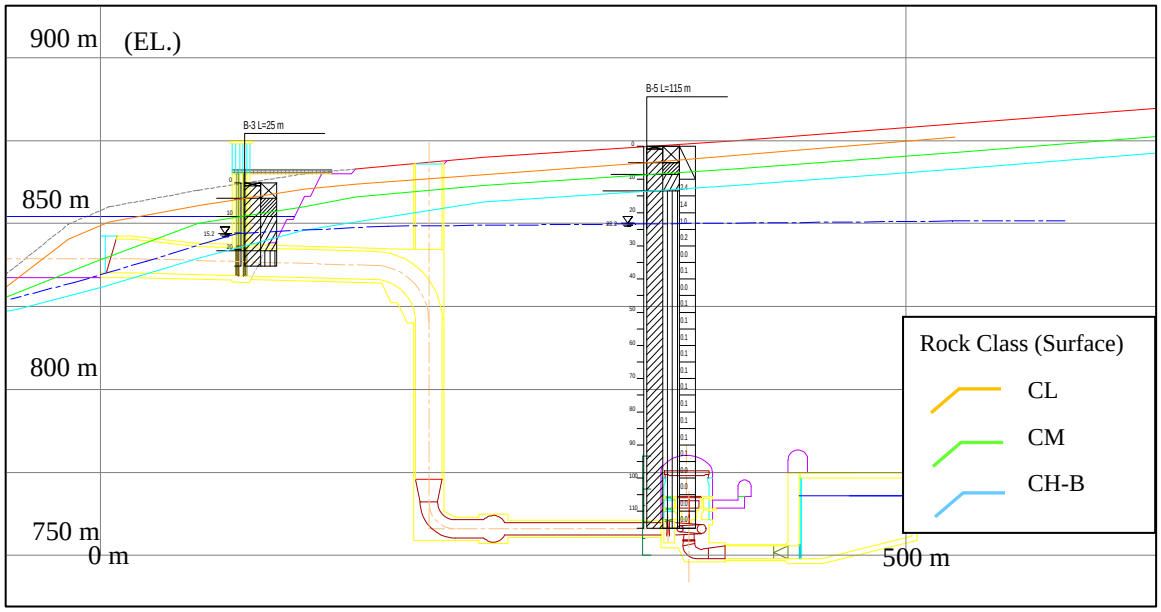
Table 7.3.3-1 Recommended Gradient of Cut Slope

Character of soil or bedrock	Height (m)	Gradient (V:H)
Better than CM class		1:0.3 ~ 1:0.8
CL class		1:0.5 ~ 1:1.2
Sandy soil	Less than 5 m	1:1.0 ~ 1:1.2
Cohesive soil	Less than 10 m	1:0.8 ~ 1:1.2

Note: Silt is placed under cohesive soil.

Reference: the Japan Road Association (1999), MANUAL FOR SLOPE PROTECTION

クォーツァイトはやや亀裂質な部分があり、また、黒雲母片麻岩は風化により劣化することが予想されるため、掘削面はコンクリート/モルタル吹き付け工等による保護が望ましい。また、地質構造は、一般的に急傾斜し斜面に対し差し目となるため、斜面安定上好ましいが、構造変化が著しい部分があるため、面すべりやトップリング等には注意を要する。



(Source: Study Team)

Figure 7.3.3-1 Rock Condition of No.1 Powerhouse

(3) 圧力トンネル～地下発電所

1) 地質

堅硬な黒雲母片麻岩が分布する。地質構造は周辺の露頭から一般走向は NW-SE と推定され SW へ 60-90 度程度傾斜する。

2) 地質工学的評価

圧力トンネル: 概ね CH-B 級の堅硬な黒雲母片麻岩が分布すると推定される。

発電所 No.1（下流側）: 概ね CH-B 級の堅硬な黒雲母片麻岩が分布すると推定される。透水試験結果は、0.1Lu 以下の非常に難透水を示す。ボーリング B-5 深度 100.4 m に、幅 30cm 程度の 60 度傾く破砕部があり、103.6 m までやや亀裂質。ただし、透水性は低く、亀裂は密着していると考えられ、この区間以外に目立った亀裂は無い。

発電所 No.2（上流側）: 概ね B-CH 級の堅硬な片麻岩が分布すると推定される。透水試験結果は、0.1Lu 以下の非常に難透水を示す。ボーリング B-6 では目立った亀裂は無い。

現在の地下発電所付近の基盤は、堅硬な片麻岩ではあり、強度上および水密性において、発電所建設上大きな問題は認められない。しかしながら、雲母を多く含むため、岩盤強度上の異方性があり、掘削等によって応力が開放されると、一般に雲母等の面構造（片理）に沿って分離しやすく、落盤等の原因となることがある（片理構造はうねりがあり一定ではないが、近傍では急傾斜している）。地下発電所は大規模な地下構造物となり、一般のトンネル区間より岩盤の安定性が要求される。今後、基盤岩の深度および透水基盤の状況を把握するため、追加ボーリングや透水試験等を実施し、地質データを蓄積していく必要がある。

(4) 放水路トンネル

1) 地質

放水路トンネル区間は、おおむね堅硬な黒雲母片麻岩等が出現する。踏査結果によると、放水口付近では、30 度前後 NE へ傾斜する緩い構造であるが、上流側では 70-90 度 NE または SW へ傾斜するとともに微褶曲が多い。

2) 地質工学的評価

今回の地質調査は、致命的な地質条件の有無に重点を置いたため、ボーリングは両坑口でのみ実施した。延長約 10 ㎞のトンネル区間の地質はボーリング結果を参考とし、地質踏査結果と空中写真判読結果から推定した。ボーリングでの岩級区分とトンネルの岩盤分類の対比を Table 7.3.3-2 に示す。

Table 7.3.3-2 Relationships between Rock classifications and Rock Type for Tunnel Structure of Ayago HPP

Rock class (CRIEPI)	Rock class for Underground Excavation (headrace tunnel, tailrace tunnel, access tunnel to powerhouse, cable tunnel and work adit)		Rock Mass Rating (RMR)
	Rock type	Description (during excavation)	
B	B	Generally sound fresh rock, massive-poor gneissocity and very hard. Full face excavation is possible. Rock is generally stable.	Very Good (I) 80-100
CH	CI	Generally sound fresh rock to slightly weathered. Gneissic structure is obvious, micaceous gneiss. Full face excavation is possible. Rock is generally stable.	Good (II) 60-80
CM	CII	Slightly to moderately weathered rock with occasional seams and fault zones. Full face excavation is also possible even though strong plastic earth pressure may develop.	Fair (III) 41-60
CL	DI-DII	Moderately weathered to completely weathered rock, with seams and fault zones. Full face excavation is also possible. There is the possibility that strong plastic earth pressure may develop.	Poor (IV) 21-40
D	E	Soil, comprised of an uncemented to poorly cement compact mass of particles. Tunnel section where the depth of tunnel is less than 2D (tunnel diameter).	Very Poor (V) 0-20

CRIEPI: Central Research Institute of Electric Power Industry, Japan

JH: Japan Highway

トンネル経過地には、概ね堅硬な岩盤が出現し、また湧水量は一般に少なく、大きな問題はないと考えられる。ただし、トンネル路線沿いには、NE-SW 系および NW-SE 系のリニアメントが認められ、こうした個所は弱層が分布する可能性はある。

Table 7.3.3-3 は、トンネル区間の岩盤分類を概算したものである。現時点では、トンネル区間の詳細調査は実施していないため、リニアメントは全て弱層と仮定している。F/S においては、トンネル区間の 7 岩盤状況や弱層の有無をより詳細に確認し、岩盤分類を実施する必要がある。なお、トンネル路線沿いは、風化によって露頭状況があまり良好ではなく、地表踏査の精度には限界があることから、弾性波探査やボーリング等による詳細な調査が必要である。

Table 7.3.3-3 Rock Type along Tailrace Tunnel Alignment

Rock class		
CRIEPI	JH	Length (m)
B-CH	B-CI	6,941
CH	CI	105
CM	CII	247
CL	DI-DII	80
CL-D	E	28
	total	7,401
Tailrace Tunnel		
Rock class	length (m)	
B	4,165	
CI	2,881	B:CI=6:4
CII	247	
DI-DII	80	
E	28	
TOTAL	**7,401**	

Rock condition along tailrace tunnel are roughly-estimated based on the following assumptions

1. Weak zone
- All lineaments are regarded as weak zones for safety.
- 30 m thick in total (CL class: 10 m, CM class: 20 m) for each weak zone
- No thick clay seams intercalated, and relatively tight condition in cracks

2. Tunnel will encounter good rocks classified into B or CI except for the weak zones mentioned above and portal sections.
- Rock condition near the intake site is classified mainly into B class according to drilling survey.
- The percentage of relatively foliated rocks classified into CI class increase toward the outlet side.
- The ration of B class and CI class in good rock sections is estimated to be 6 to 4.

3. E class: Tunnel section where the thickness of earth covering of the tunnel is less than twice the width of the tunnel.

(5) 放水口

1) 地質

黒雲母片麻岩およびクォーツァイトが分布する。尾根上は風化により露頭が少ないが、クォーツァイトは風化に強いため、岩片が尾根上に多数散在している。

ナイル川左岸側には河川に沿って、比高約 30m 程の緩斜面が連続する。わずかながら円礫が認められることから、かつての段丘が浸食されたものと考えられる。放水口地点には、NE-SW に連続するリニアメントがあり、断層等の地質境界が推定される。

2) 地質工学的評価

全体的に亀裂質であり、深部まで風化が進んでいる（ボーリング B-7）。ただし、ボーリングコア状況から判断すると、部分的に強く破砕されているものの表層を除くと粘土化はしていないようであり、明かり掘削区間や支保工区間が長くなるものの、放水口を建設する上では致命的な問題ではないと考えられる。しかしながら、放水口は地形や地質に応じて、ある程度移動させることが可能であり、風化の厚さや亀裂状況を弾性波探査やボーリング等で把握して、放水口位置の最適化を図る必要がある。

(6) 土捨場

1) 地質状況

土捨場地点の概要は以下のとおり。なお、詳細な調査は実施していない。

概ね表土は薄く、数m程度で基盤岩が出現する。谷部は高さ 5~7m 程度の林地、尾根部は疎林～草地となっている。

2) 工学的評価

風化土が薄いため、盛土による基礎地盤の地滑りの危険は少ない。谷部河川は常時の流水はないようであるが、排水処理は必要である。また、長期の安全性確保のため、廃棄岩の安定性を確認することも必要である。

7.3.4 基礎岩盤の力学性状

(1) 岩盤分類

岩級区分は Table 7.3.4-1 に示す電研式分類(Tanaka 1964)に基づいて実施した。各岩級における期待される岩盤のパラメーターを Table 7.3.4-2 に示す。

Table 7.3.4-1 Rock Classification (CRIEPI)

Grade	Description
A	The rock mass is very fresh, and the rock forming minerals and grains undergo neither weathering nor alternation. Joints are extremely tight and their surfaces have no visible sign of weathering. Sound by hammer blow is clear.
B	The rock mass is fresh and solid. There is no open joint and crack. But rock forming minerals and grains undergo a little weathering and alteration partly. Sound by hammer blow is clear.
CH	The rock mass is slightly weathered and relatively solid. The rock forming minerals and grains undergo weathering except for quartz. The rock is contaminated by limonite, etc. The cohesion of Joints and cracks is slightly decreased and rock blocks are separated by firm hammer blow along joints. Clay minerals remain on the separation surface. Sound hammer blow is a little dim.
CM	The rock mass is moderately weathered and somewhat softened by weathering, except for quartz. The cohesion of Joints and cracks is somewhat decreased and rock blocks are separated by ordinary hammer blow along the joints. Clay materials remain on the separation surface. Sound by hammer blow is somewhat dim.
CL	The rock mass is highly weathered and soft. The rock forming minerals and grains are softened by weathering. The cohesion of Joints and cracks is decreased and rock blocks are separated by soft hammer blow along the joints. Clay materials remain on the separation surface. Sound by hammer blow is dim.
D	The rock mass is completely weathered and decomposed, and remarkably soft. The rock forming minerals and grains are softened by weathering. The cohesion of joints and cracks is almost absent. The rock mass collapses by light hammer blow. Clay materials remain on the separation surface. Sound by hammer blow is remarkably dim.

Note: Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI).

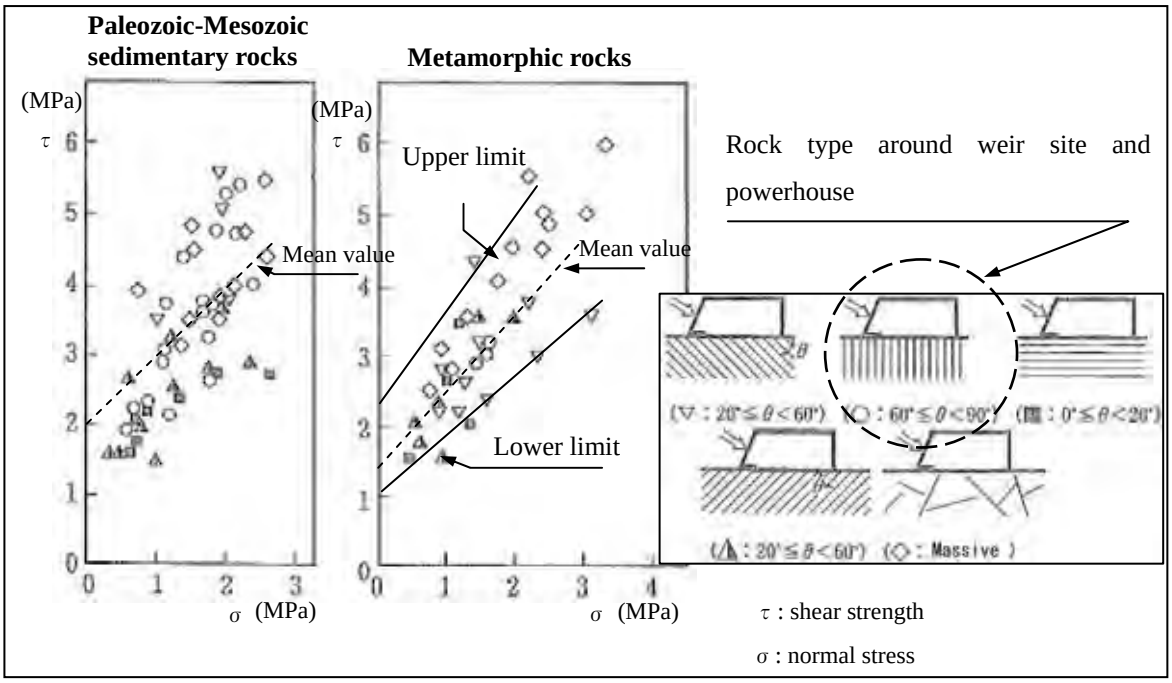
Table 7.3.4-2 Rock Mass Classification and Rock Parameters by K. Kikuchi, et al

Rock Grade	Uniaxial compress. strength (kgf/cm^2)	Static modulus of elasticity (kgf/cm^2)	Modulus of Deformation (kgf/cm^2)	Cohesion (kgf/cm^2)	Internal friction angle (deg.)	Velocity of elastic wave (km/sec)
B	800 or more	80,000 or more	50,000 or more	40 or more	55-65	3.7 or more
CH	800-400	80,000-40,000	50,000-20,000	40-20	40-55	3.7-3.0
CM	400-200	40,000-15,000	20,000-5,000	20-10	30-45	3.0-1.5
CL-D	200 or less	15,000 or less	5,000 or less	10 or less	15-38	1.5 or less

(Source: Dr.K.Kikuchi, Mr.K.Saito & Mr.K.Kusunoki, ICOLD, May,1982)

(2) 岩盤強度の推定

片理や層理を考慮した変成岩等の CM 級せん断試験結果を Figure 7.3.4-1 に示す。



(Source: Saito et al (1985), Dam Engineering, vol.3, No.2, pp.58-65 (partially modified))

Figure 7.3.4-1 Directions of Bedding Plane/Schistosity and Shear Strength of CM Class Rocks

露頭観察、室内試験結果および既存の岩盤試験結果を考慮し、各岩級の物理定数を Table 7.3.4-2 のように推定する。なお、設計へのこれらの物理定数の摘要に当たっては Ayago 地点の岩盤には、異方性があることを考慮する必要がある。また、これら推定された物理定数は、今後（F/S）の室内および原位置試験によって検証する必要がある。

Table 7.3.4-3 Physico-mechanical Parameters of Foundation Rocks

Rock class	Elastic module GPa	Deformation module GPa	Bulk density g/cm^3	Shear strength	
				Cohesion MPa	Internal friction angle degree
B	10	6	2.8	3.5	50
CH	6	3.5	2.8	2.5	45
CM	3	1.5	2.5	1.5	40
CL	1.5	0.5	2.2	0.7	35

Note: Parameters of shear strength should be reviewed based on results of laboratory tests and in-situ tests.

7.3.5 コンクリート骨材

(1) 粗骨材

Ayago 地点周辺には河床堆積物や段丘堆積物はほとんど分布していないため、コンクリート骨材確保には原石山の開発が必要である。しかしながら、Ayago 地点は自然国立公園内に位置し、開発が制限されるため、トンネル等の掘削材の利用が環境上好ましい。

1) トンネル等掘削材

再委託で実施した地質調査結果によると、発電所 No.2（上流側）付近の岩質は、塊状堅硬であり、コンクリート骨材として適している。しかしながら、ボーリング 1 孔での確認であり、今後追加ボーリング等により、地質分布や利用可能量を把握する必要がある。

トンネル区間の地質は、雲母を多く含む片麻岩が広く分布している。発電所 No.1（下流側）付近の室内試験結果では、すり減り減量が 40%と高く、骨材としてはあまり好ましくない結果となった。また、踏査結果によると、下流側ほど片理面が発達し、良好な塊状の片麻岩が少なく、トンネル区間のコンクリート骨材としての歩留まりが悪い可能性が高い。Ayago 地点は風化により、露頭状況が良くないため、地表踏査による地質の把握は限界があることから、トンネル路線に沿ってボーリング等を実施して地質の確認が必要である。

2) 公園外の原石山候補地点

公園内の開発が制限されるため、建設初期段階での骨材利用として、公園外での原石山の利用が予想される。候補地点として、Figure 7.3.5-1 に示す 4 地点の地質調査を実施した。結果を Table 7.3.5-1 にまとめる。この 4 地点では Site 4 の運搬距離が最も小さく、質量ともに有望である。Site 4 は新設の道路を建設したとしても Ayago 地点から 70 km 以上離れておりコスト高となるが、建設の骨材を補う原石山として利用可能と考えられる。

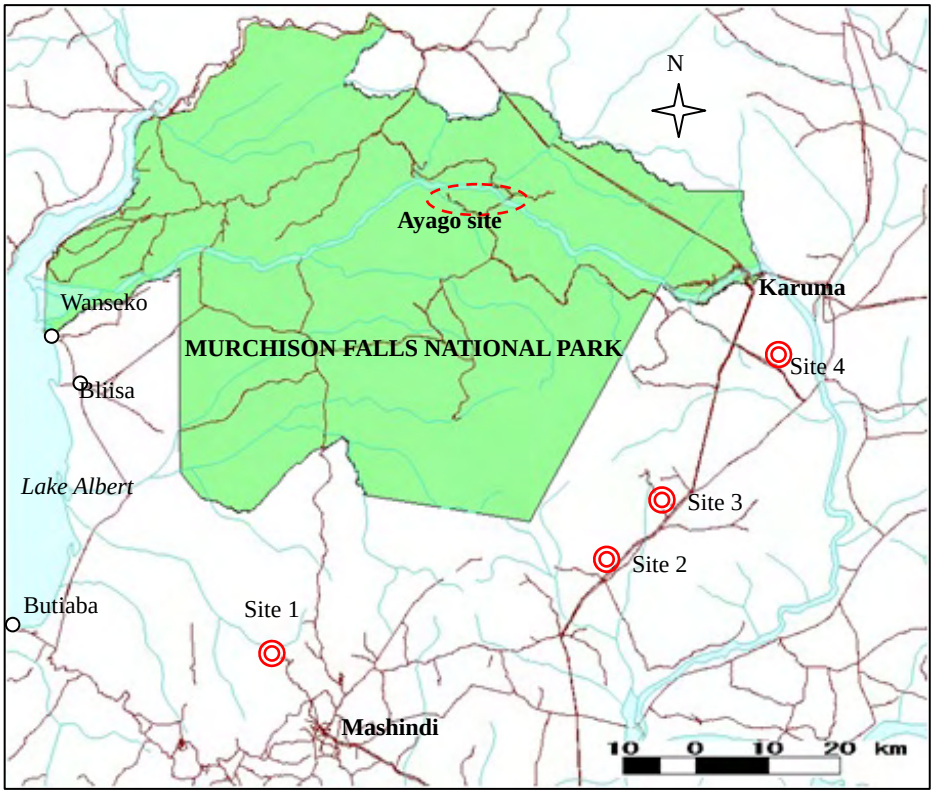


Figure 7.3.5-1 Locations of Construction Material Source out of Murchison Falls National Park Area (Source: Study Team)

Table 7.3.5-1 Summary of Construction Material Source out of Murchison Falls National Park Area

Material source	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4
Photos				
Location	Mashindi 36 N 350894E, 197103N	Kiryandango 36 N 404187E, 215976N	Bweyale, Nyamusasa 36 N 404196E, 218228N	Mutanda 36 N 419336N, 237238E
Site Condition	Commercial quarry	Local quarry	Grass land, cultivated area	(Used for materials of Karuma-Pakuche Road)
Geology	Granitic gneiss, suitable for concrete aggregates	Granitic gneiss, suitable for concrete aggregates	Granitic gneiss, suitable for concrete aggregates	Metabasite, suitable for concrete aggregates, better than the other three sites
Distance	107 km	100 km	90 km	84 km

(Source: Study Team)

Note:

1. Datum of coordinates is ARC1960.
2. Comments on geology are based on the results of site inspection (23/10/2010). Detailed geological investigations are necessary to confirm availability of each quarry site both in quantity and quality.
3. Distance: approximate road distance from Ayago site.

(2) 細骨材

細骨材は、掘削材等をクラッシングして得る。トンネル区間に広く分布する黒雲母片麻岩は、適しておらず、帯状またはブロック状に分布する塊状部分が対象となる。

細砂の土取場候補地として、Albert 湖の湖畔(Wanseko、 Buliisa、 Butiaba 地点)が考えられる（Figure 7.3.4-1 参照）。これらの地点は、商業ベースで大規模に開発されているわけではなく、現地住民の建設材料として利用されており、ローカル政府やコミュニティが管理している。また、公園内であるため利用は難しいが、Paraa Lodge 対岸（南岸）付近にはナイル川の段丘堆積物が数m厚で分布している。UWA はこれを、公園内の道路路盤に利用している。

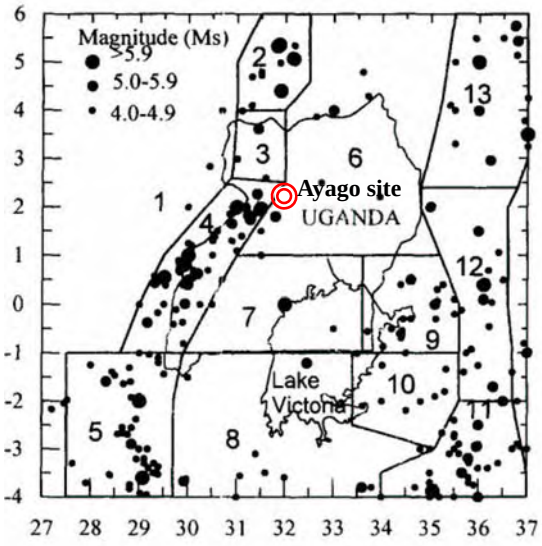
Lake Albert, near Wanseko town

Terrace deposits of Nile River

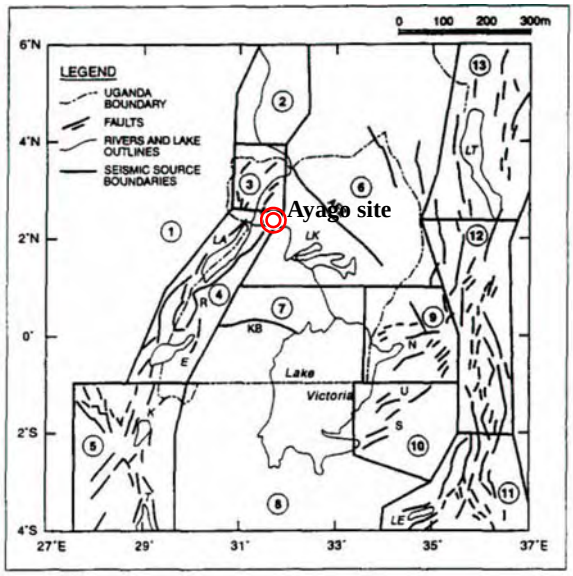
7.3.6 設計震度

(1) 既存資料収集

ウガンダの西部域では、Rift valley 沿いには正断層系の浅い地震が発生している(Figure 7.3.6-1 参照)。近傍に活断層は認められていないが、Ayago 地点は、地震が頻発する西リフトバレーから 20～30 km と比較的近接している。



Epicenters in the Uganda earthquake (1900-1991)

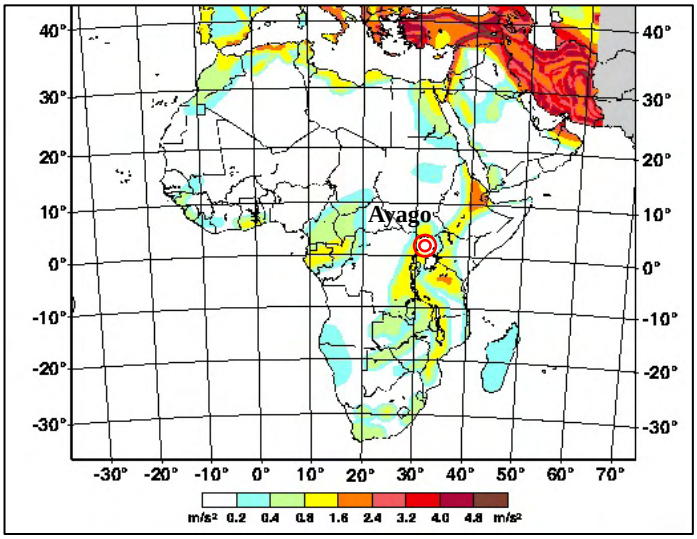


Main faults and seismic zone

(Source: E.M. Twesigomwe (1997), Seismic hazards in Uganda, Journal of African Earth Sciences, vol.24 No.1/2, pp.183-195 and partially modified.)

Figure 7.3.6-1 Epicenters in Uganda (1900-1999) and Main faults & Seismic zone

The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP)が作成したハザードマップによると、Ayago 地点は 0.8 m/s^2 – 1.6 m/s^2 (0.08g-0.16g)の範囲にある。また、既存レポート(F/S1984)では、設計震度を 0.2g と設定している。また、現在建設中の Bujagali ダムでは、担当者からの聞き取りによると、0.19g を採用している。



Source: Compilation of the GSHAP regional seismic hazard for Europe, Africa and Middle East. The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP), a demonstration project of the UN/International Decade of Natural Disaster Reduction,1998.
Note: The GSHAP Global Seismic Hazard Map has been compiled by joining the regional maps produced for different GSHAP regions and test areas; it depicts the global seismic hazard as peak ground acceleration with a 10% chance of exceedance in 50 years, corresponding to a return period of 475 years.

Figure 7.3.6-2 Peak Ground Acceleration of Africa

(2) 設計震度の算定

既存資料の地震データとして 1973 年以前は Ntungwa Maasha(1975),The Seismic and Tectonics of Uganda, Tectonophysics, 27 pp. 381-393 を用い、それ以降は US Geological Survey のデータを使用した。

Ayago 地点の座標は、Latitude N2.348°, longitude E31.9337°（取水堰付近）として計算している。計算式は以下のとおり。

$$A = 2000\, e^{0.8M} / (d^2 + h^2 + 400) \qquad \text{(Cornell)}$$

Where,

- M : Magnitude of earthquake in Richter Scale
- D : Distance from epicenter to the project site in km
- H : Depth of focus in km
- A : Maximum acceleration in gal or cm/sec^2
- E : The exponential constant

算出された Peak Ground Accelerations（PGA)は Figure 7.3.6-3 に示す。

Return period (years)	10,000	1,000	500	100
PGA (cm/s^2)	192 0.20g	144 0.15g	110 0.12g	96 0.10g

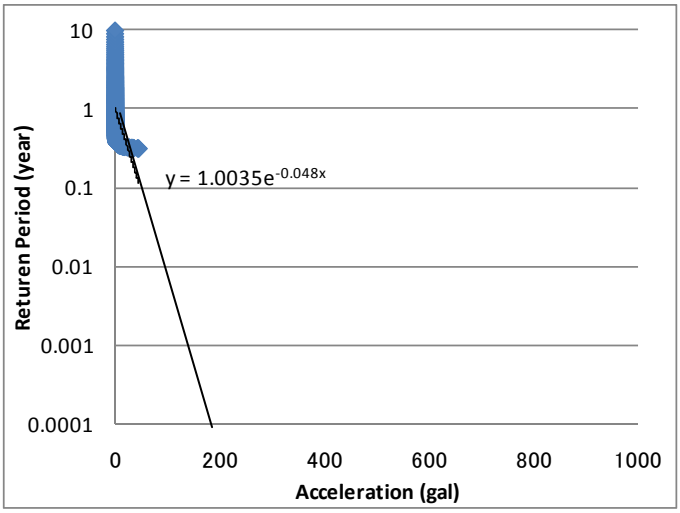


Figure 7.3.6-3 Acceleration vs Return Period

(3) 設計震度

既存の資料および算出結果から、Ayago 地点の地震係数は Maximum Credible Earthquake (MCE) は、0.20g、Operating Basis Earthquake (OBE)として 0.10g と推定される。

7.3.7 今後の調査計画

(1) 調査計画

F/S で期待される調査項目・数量を Table 7.3.7-1 以下に示す。

1) ボーリング

ボーリング調査は、各構造物およびトンネル区間の詳細調査のために実施する。なお、地下発電所調査は、2 か所の候補地点（Headrace type および Tailrace type）で、ボーリング調査を実施し、比較検討の資料とする。

2) ボアホールＴＶ観察

Ayago 地点のように、異方性が強い（方向によって力学性状が異なる）片麻岩が広く分布している場合、地下発電所等の大型の地下空洞は、長軸と基盤岩の片理面（もしくは最大頻度の亀裂面）の走向を直交させることが、安定性上有利となる。このため、ボアホールＴＶ観察等によって亀裂や破砕帯の方向性を確認し、ボーリング結果等を踏まえて地下発電所の地質を評価し、座取り最適化の資料とする。ボアホールＴＶ観察は日本の機材持ち込みによる観察を想定している。なお、ボアホール TV 機材が利用できない場合は、精度は落ちるが、同位置での斜めボーリングによって走向傾斜を確認することもできる。

3) 弾性波探査

弾性波探査はトンネル区間のように長大な構造物の路線沿い広域なの地質情報を得る上で非常に有効であり、特に、路線沿いに潜在する弱層の把握や風化が厚い放水路トンネル坑口の位置の最適化のため是非実施したいが、本調査に於いては、ウガンダに機材がないことに加え、実施の申請には時間がかかり、さらに海外のエンジニアが現地指導する時間がないことから、実施を見送られた経緯がある。また、最近実施されている Karuma 地点の横坑調査でも火薬の許可が下りず、岩掘削ができなかったことが報告されている。従って、ケニア、南ア等の業者・機材により、作業自体は可能と考えられるが、EIA 等の許可に時間がかかるため、MEMD と連絡を密にし早期から準備する必要がある。ただし、許可等に時間がかかり、実施が難しい場合は、弾性波探査の替わりにボーリング数量を増やすことも考えられる。

4) 地表踏査

本調査で作成した 1:10,000 および 1:1000 スケールの地形図を用いて踏査を実施し、構造物およびその周辺の地質を把握する。

5) 室内試験

物理および力学試験を実施し、岩盤の工学性状を把握し、設計定数推定のための資料とする。また、建設材料（コンクリート材料）の適性や廃棄材の安定性を評価する。

6) 初期地圧力測定（ＡＥ法）

地下発電所設計のため、初期地圧を測定する。横坑掘削が必要ではなく、初期地圧測定法の中では比較的容易に測定が可能である、ボーリングコアを利用したＡＥ法を提案する。

この測定はボーリングコアを日本に持ち帰り実施する測定計測を想定している。

Table 7.3.7-1 Recommended Geological Investigations for Feasibility Stage

No	Survey Items		Quantity						
I	Core drilling								
		Weir site	4	holes	x	25	m	100	m
		Power house (head type)	8	holes	x	120	m	960	m
		Power house (tailrace type)	2	holes	x	120	m	240	m
		Tunnel	6	holes	x	50	m	300	m
		Tailrace	4	holes	x	30	m	120	m
		Work adit	2	holes	x	25	m	50	m
		Access tunnel	2	holes	x	25	m	50	m
	Total							1770	m
II	Borehole TV observation								
		Power house (head type)	6	holes	x	120	m	720	m
		Power house (tailrace type)	2	holes	x	120	m	240	m
	Total							960	m
III	Seismic refraction prospecting								
		Tunnel alignment						11.5	km
IV	Ground mapping								
		1:10,000 scale						30	km2
		1:1,000 scale						3	km2
V	Laboratory Test								
		Physical and mechanical test						1	L.S.
		Construction material						1	L.S.
		Dissolution test for excavated materials						1	L.S.
VI	Initial stress measurement								
		Acoustic emission method						1	L.S

(2) F/S での 調査実施上の留意点

地質調査を実施する上で、以下を留意する必要がある。

1) NEMA および UWA の許可

Ayago 地点は国立公園内に位置するため、作業には NEMA の許可が必要であり、必要に応じて作業実施には EIA 審査が必要とされる。今回の調査では、影響範囲が小さいことから、EIA は必要としなかったが、MEMD が申請を行い、許可に 2 カ月を要した。また、NEMA の許可条項には、UWA の許可が必要であり、そのために調査でありながら、通常の観光入場の料金（入場料、レンジャー料、キャンプ代等）を請求された。当初 40,000USD 以上（最終的には 15,000USD 程度）を請求され、結果的には MEMD の負担となったが、F/S においても同様の問題が生じると想定される。F/S では、さらに調査期間が長くなる可能性があり、F/S を実施する前に、MEMD に UWA と調整するよう働きかける必要がある。

2) アクセス道路

今回の地質調査で建設したアクセス道路が F/S 時の地質調査でも、草刈りや沢部の補修

で、利用可能である。但し、ぬかるんだ個所は次第に悪化し、う回路を作ることにより広範囲の植生が悪化するため、長期的なアクセス道路の利用や周辺植生への影響を考慮すると、沢部は暗渠の敷設、砂利敷き等を実施して、アクセス道路を固定化することが望ましい。なお、アクセス道路整備等全ての作業は、公園内のため、NEMA の許可が必要となるが、当公園は観光に力を入れており、この程度の大きな改変を伴わない道路整備に関して抵抗は少ないと推察する。

3) キャンプ

Ayago 地点は、近傍の町 Karuma から約 90 km あり、車で約 2 時間要する。このため、公園内にキャンプする必要があり、作業に当たっては、UWA レンジャーを雇用し、作業員の安全を確保するとともに、ゴミの公園外への持ち帰り等周囲環境への影響を最小化する必要がある。また、Karuma 付近はディーゼル燃料の調達が難しいことがあり、その場合はさらに遠方の Gulu (Karuma の北 90km)または、Bweyale（Karuma の南 45km）から調達する必要がある。

4) 実施時期

現場へのアクセスや作業効率を考慮すると、降雨の少ない 12 月～3 月に調査を実施することが望ましい。ただし、雨季期間であっても、降雨が連続することは少なく、作業は可能である。

7.4 Ayago地点の生物環境

7.4.1 調査方法

Ayago 地点の生物概況を把握するため、文献調査と現地調査を行った。現地調査の調査期日、調査者、調査範囲は以下のとおりである。

Table 7.4.1-1 Surveyors

Name	Position	Organization
Dr. Paul Ssegawa	Plant ecologist/botanist	WSS/MUK
Dr. Kityo Robert	Zoologist / Fauna Specialist	WSS Services (U) Ltd.
Dr. Behangana Mathias	Herpetofauna Specialist	WSS Services (U) Ltd.
Ms. Akite Perpetra	Butterflies Specialist	WSS Services (U) Ltd.
Dr. Eric Sande	Birds Specialist	WSS Services (U) Ltd.
Ms. Jalia Kiyemba	Field Assistant Butterflies Surveys	WSS Services (U) Ltd.
Ben Kirunda	Assistant	MUK
Dr. Twongo Timothy	Aquatic /Fisheries Specialist	WSS Services (U) Ltd.
Dr. Okello William	Water Quality Specialist	WSS Services (U) Ltd.

Table 7.4.1-2　Survey Date and Time

Date	Time	Area	Surveyors
9th August – 15 August 2010	6am – 9pm	Survey Areas A and B	Dr. Robert Kityo Dr. Behangana Mathias Ms. Akite Perpetra Dr. Eric Sande Ms. Jalia Kiyemba
29th July – 2nd August 2010	9 am– 5pm	Detailed and large area	Paul Ssegawa Ben Kirunda
21st September – 24th September 2010	6am – 5pm	Survey points	Dr. Twongo Timothy Dr. Okello William
12th October – 15th October 2010	6am – 5pm	Survey points	Dr. Twongo Timothy

調査範囲は、概要調査を行う調査エリアAと詳細調査を行う調査エリアBに区分した。調査エリアAは、各レイアウトのアクセス道路や送電線ルートも含むおおむね 1,020 km^2 で、動植物相の概要把握を行った。調査エリアB[1]は、各レイアウトの取水口、導水路、発電施設、土捨て場などを含むおおむね 119km^2 である。調査エリアBでは、動植物の詳細調査を行い、衛星画像を元に詳細植生図等の作成を行った。Figure 7.4.1-1 に調査エリアを示す。

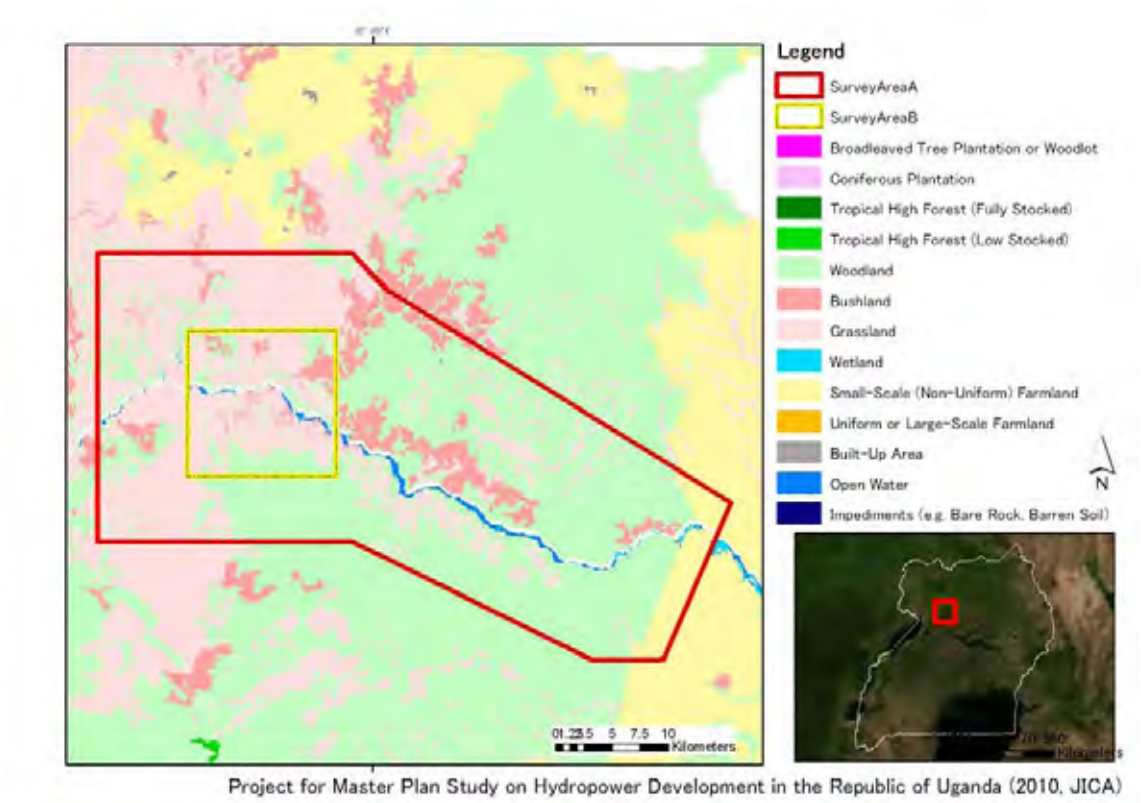


Figure 7.4.1-1　Survey Area

[1] The ccoordinate values of the corners of Survey area B are 31°51’6.000”E 2°24’31.000N, 31°51”6.000”E 2°17’30.000”N, 31°58’15.00E 2°17’30.000”N, 31°58’15.000” 2°24’31.000”N. Coordination system is WGS_1984_UTM_Zone_36N.

7.4.2 植物

現地調査では、54 科 168 属 244 種の植物が確認された。IUCN レッドリスト掲載種としては、Milicia excelsa (LR/nt) and Khaya anthotheca (VU)が樹林域で確認された。Kalema (2005)によると、MFNP には Afzelia Africana, Vitellaria paradoxa, Entandrophragma cylindricum, Hallea stipulosa, Khaya grandifolia, Pouteria altissima, Dalbergia melanoxylon などの希少種も確認されている。

取水堰サイト付近で確認された植物タイプは、河畔植生(Riverine vegetation)、コンブレタム優勢草地(Combretum dominated grassland)、アカシア優勢疎林(Acacia dominated wooded grassland)、ピリオスティグマーアカシア疎林(Piliostigma-Acacia wooded grassland)の 4 タイプである。中でも重要なものは河畔植生である。河畔植生は MFNP 特有のものではないが、撹乱に弱く、希少な種が多く生育し、種多様性が高く、斜面を浸食から守るという点からも、保全重要性が高い。

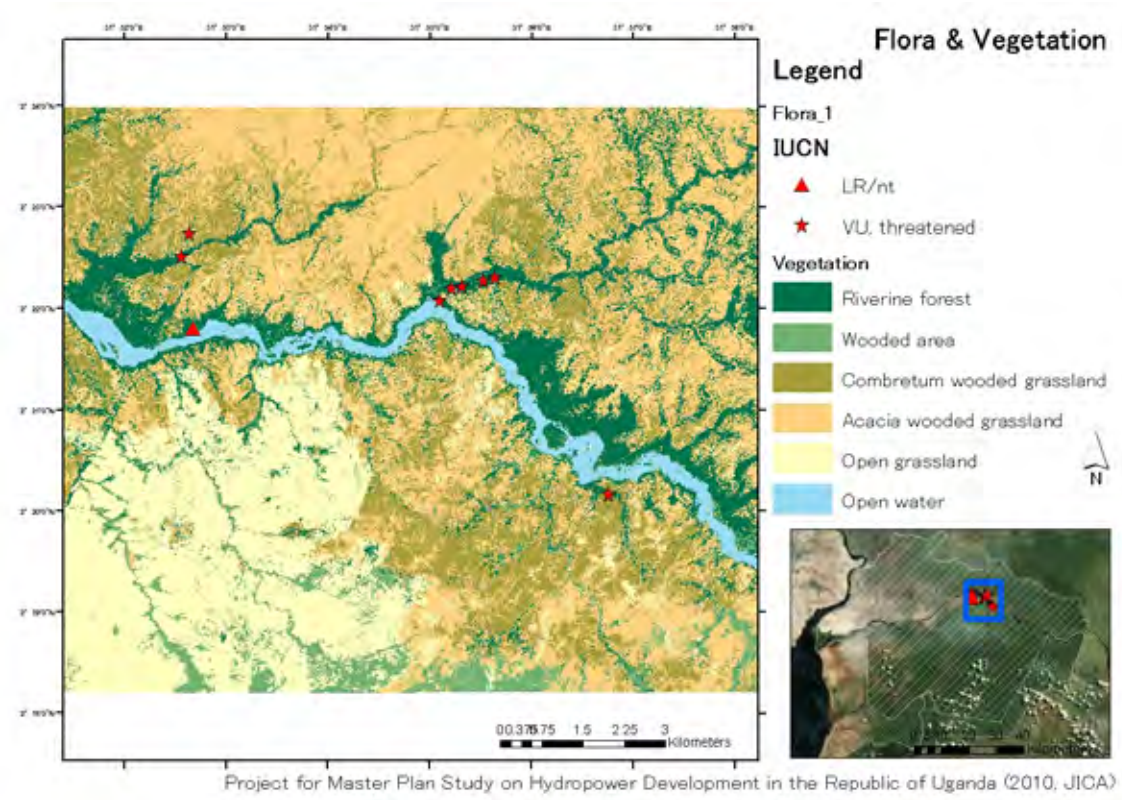


Figure 7.4.2-1 Survey Area (WGS_1984_UTM_Zone_36N)

7.4.3 哺乳類

現地調査では 26 種の哺乳類が確認された。このうち IUCN レッドリストの絶滅危惧 II 類(VU-Vulnerable)に該当する種は Hippopotamus、準絶滅危惧(NT-Near Threatened)に該当する種は、Leopard、Spotted Hyena、African Elephant の 3 種である。Hippopotamus と African Elephant は調査地内で比較的多く確認されており、これらの確認位置図を Figure 7.4.3-1, Figure 7.4.3-2 に示す。哺乳類調査結果の詳細は、SEA レポートの添付資料参照のこと。

Table 7.4.3-1 IUCN listing status and population trends for important species of mammals in MFNP

Name			IUCN Red List status	Presence		Population in the MFNP							
Family	English name	Scientific name		area A	area B	pre-1973 a	1980b	1991c	April 1995d	Dec. 1995e	June 1999f	May 2002g	Jul-05
Cercopithecidae	Olive Baboon	*Papio Anubis*	LC	√	√								
	Black & White Colobus	*Colobus guereza*	LC	√	√								
	Red-tailed Monkey	*Cercopithecus ascanius*	LC										
Felidae	Leopard	*Panthera pardus*	NT		√								
	Lion	*Panthera leo*	VU										
Hyenidae	Spotted Hyena	*Crocuta crocuta*	NT	√	√								
Hippopotamidae	Hippopotamus	*Hippopotamus amphibius*	VU	√	√	12,000	7,565	-	1,498	1,238	1,792	-	2,104
Suidae	Bush Pig	*Potamochoerus porcus*	LC	√	√								
Suidae	Common Warthog	*Phacochoerus africanus*	LC	√	√	-	-	-	411	856	1,639	-	2,298
Bovidae	African Buffalo	*Syncerus caffer*	LC	√	√	30,000	15,250	1,610	1,087	2,477	3,889	8,200	11,004
	Bushbuck	*Tragelaphus scriptus*	LC	√	√								
	Sitatunga	*Tragelaphus spekii*	LC										
	Common (Bush) Duiker	*Sylvicapra grimmia*	LC	√	√								
	Hartebeest	*Alcelaphus buselaphus*	LC	√	√	-	14,000	-	3,068	2,431	2,903	-	4,101
	Uganda Kob	*Kobus kob*	LC	√	√	10,000	30,700	-	6,355	4,373	7,458	-	9,315
	Oribi	*Ourebia ourebia*	LC	√	√								
	(Defassa) Waterbuck	*Kobus ellipsiprymnus*	LC	√	√	-	5,500	-	539	566	792	-	1,441
Giraffidae	Giraffe	*Giraffa camelopardalis*	LC	√	√	150-200	-	78	100	153	347	229	245
Elephantidae	African Elephant	*Loxodonta africana*	NT	√	√	12,000	1,420	308	201	336	778	692	516

(Source: [a]UNP (1971), Laws et al (1976); [b]Malpas (1978), Douglas-Hamilton et al (1980); [c]Olivier (1991); [d]Sommerlatte & Williamson (1995); [e]Lamprey and Michelmore (1996); [f]Lamprey (2000); [g]Rwetsiba et al (2002))

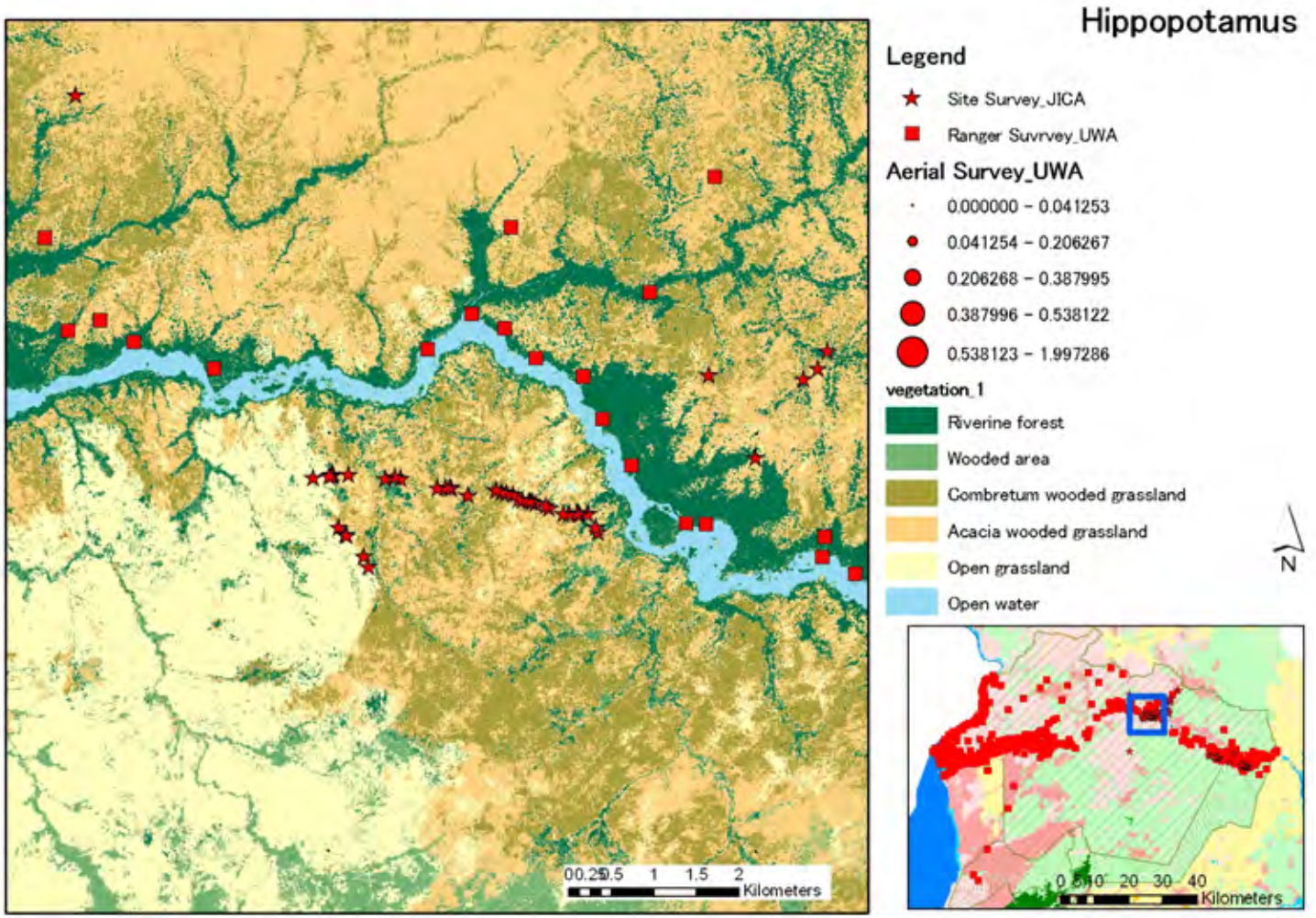
Note**:** Numbers in italics are from sample counts with standard errors omitted for clarity. Numbers in normal script are from aerial total counts.
VULNERABLE (VU) : considered to be facing a high risk of extinction in the wild
NEAR THREATENED (NT): close to qualifying for or is likely to qualify for a threatened category in the near future
LEAST CONCERN (LC): does not qualify for Critically Endangered, Endangered, Vulnerable or Near Threatened

Table 7.4.3-2 important mammals in the project area

Name	General Habitat	General Behavior	Estimated Distribution in Ayago Area
Leopard (Panthera pardus- NT)	An extremely wide habitat tolerance: from coastal plains to high altitude montains, from semi-desert areas to toropical rainforests.	Solitary with the exception of pairs coming together for mating, or when a female is accompanied by cubs. They are mainly active at night but in areas where they are not disturbed they can be observed moving during the cooler daylight hours. Most activity takes place on the ground but they are also capable climbers and swimmers. Adult males mark and defend a territory against other males, and a male's range may overlap those of several females. Territories are marked with urine scrapes, droppings, tree-scratching points and the deep 'sawing', or grunting, call. Females also call but this presumably serves no territorial function. Home ranges mey be as small as 10km2 in optimal habitat, to several hundred square kilometres where pray densities are low. They stalk and then pounce on their prey and do not rely on running at high speed like the cheetah.	Population in the park is unknown. The population in the Ayago project area, their range, and routes have not yet been clearly mapped..
Lion (Panthera leo – VU)	Very wide tolerance, from desert fringes to woodland and fairly open grasslands. Absent from true forest.	The most sociable larhe cat, living in prides ot between three and 30 individuals. Pride size is largely dictated by prey availability and various from region to region. The social groupings are complex, with each composed of a relatively stable core of related females, their dependent offspring, and usually a 'coalition' of two, or more, adult males. Most hunting takes place at night and during the cooler daylight hours. A pride territory is defended against strange lions by both males and females, but some prides and solitary males may be nomadic. Territories are marked with urine, droppings, earth-scratching and their distinctive roaring. These calls are audible over distances several kilometres. Pride home ranges vary from 26 to 220 km2 but in some cases may exceed 2000 km2.	There is no record yet near the project site, but the possibility of occurrence exists given the presence of suitable hunting grounds such as the lekking grounds and wallow areas. The population in the park is unknown but could be under 500 individuals. Population in the Ayago site, home range, moving route, and resting area has not been mapped yet.
Spotted Hyena (Crocuta crocuta – NT)	Open and lightly wooded savanna, dense woodland types, rugged, broken country; also penetrates drier areas along vegetated water-courses.	Solitary animals may be encountered, they usually live in family groups, or 'clans', led by an adult female. Clan size ranges from three to 15 or more individuals, with each clan defending a territory, which is marked with urine and anal gland secretions and the distinctive bright white droppings, usually deposited in latrine sites. They are both nocturnal and crepuscular, with more limited daytime activity. They frequently sunbask in the vicinity of their daytime shelters. Countrary to popular opinion, they are not skulking scavengers, although they are not above driving other predators such asn lions from their kills.	Population in the park is unknown. Population in the Ayago site, home range, moving route, and resting area has not been mapped yet.
Hippopotamus (Hippopotamus amphibious – VU)	Sufficient water to allow for complete submergence is a requirement, and preference is shown for permanent waters with sandy substrates. Access to adequate grazing is also	Semi-aquatic, spending most of the daylight hours in water, but emerging frequently to bask on sand- and mudbanks and on occasion to feed, particularly on overcast, cool days and in areas where they are not disturbed. They emaerge at night to move to the grazing grounds, which may be a few 100 metres to several kilometres away (distances of up to 30km have been recorded), depending largely on the quantity and quality of grazing and the size of the population. They noemally live in heads, or schools, of between 10 and 15 individuals, although larger groups and solitary bulls are not uncommon. In areas of high density heads	Around 2000 hippopotamus are living between Karuma to Murchison. Average population density is 14.3/km. High populated area is unknown. They disperse for grazing at least 1km away

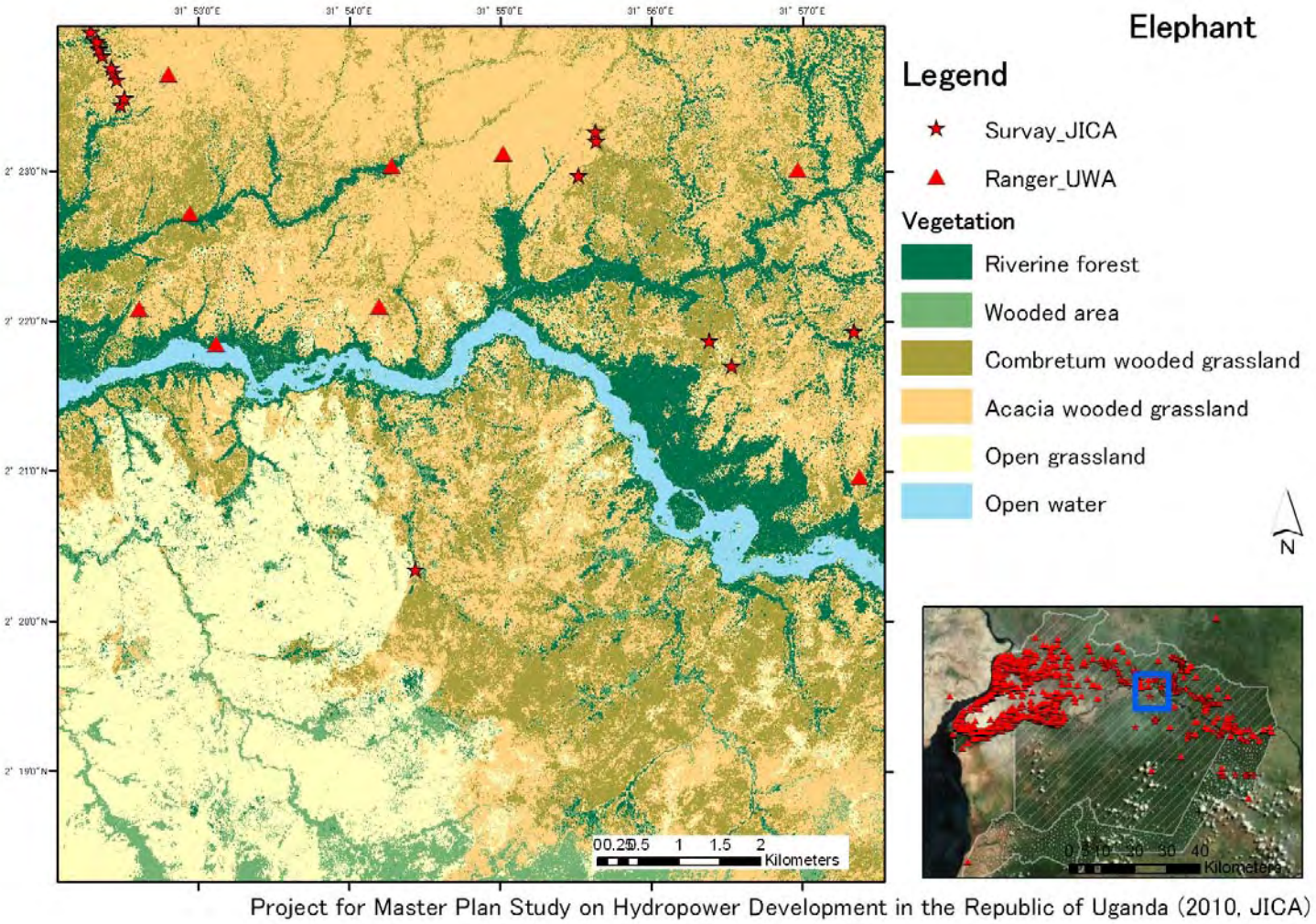
Name	General Habitat	General Behavior	Estimated Distribution in Ayago Area
	essential but these animals will move several kilometores away from water-bodies to reach suitable feeding areas.	of 30 or more animals are common. Territories in the water are very narrow but broaden towards the grazing grounds. Territorial defence is greatedt in and close to the water but the little consequence in feeding areas. Herds disperse when feeding, only retaining their integrity when in the water. Fixed pathways to and from feeding grounds are used and these are characterized by a 'tram-line' trail, consisting of two pararell tracks separated by a slightly raise centre ridge. The hippopotamus is considered dangerous mammal, as attacks almost invariably result in death for the unfortunate who provokes, wittingly or unwittingly, on of these animals.	from the River Nile. Preffered grazing areas have not been identified.
African Elephant (Loxodonta Africana – NT)	Extremely wide habitat tolerance, including coastal, montane, forest, different savanna association, semi-desert and swamp, woth the only requirements being access to adequate food, water and usually shade.	Home range size varies considerably and usually relates to the abundance of food and accessto water, with matriarchal, or family, groups ranging over 15 to > 50 km2, but are frequently smaller. Ranges of the forest race are generally much smaller, primarily because of greater abundance of food. They are highly social, living in samall family herds consisting of an older cow and her offspring, with larger groups including other related cows and their calves of different ages. At certain times, usually at waterpoints or at abundant and localized food souces, several of these matriarchal groups may gather to form temporary 'herds', sometimes up to several hundred, but each family unit retains its integrity.	Around 500 elephants are living in the MFNP. High populated area, home range, number of the herds, migration routes has not been identified. Population in the northern bank seems higher than southern bank.

(Source: Field guide to the larger Mammals of Africa (Chris & Tilde Stuart, 2006))



Project for Master Plan Study on Hydropower Development in the Republic of Uganda (2010, JICA)
(WGS_1984_UTM_Zone_36N)

Figure 7.4.3-1　Location of observed Hippotamus



(WGS_1984_UTM_Zone_36N)

Figure 7.4.3-2　Location of observed Elephant

7.4.4 鳥類

Wilson(1995)によると、Murchison フォールズ国立公園では、491 種の鳥類が確認されており、そのうち 12 種は IUCN レッドリストの EN、VU、NT に区分され、116 種はアフリカ大陸内もしくは大陸間を移動する渡り鳥である。現地調査によって確認された種は 119 種であり、そのうち 9 種が保全上重要な種であった。

Table 7.4.4-1 Species of birds of conservation concern recorded in the project area

Briton Number	Common name Scientific name	Threat	Habitat preference	Survey area A	Survey area B
B36	Purple Heron *Ardea purpurea*	R-NT	WW	√	√
B178	Brown Snake Eagle *Circaetus cinereus*	R-NT		√	√
B180	Western Banded Snake Eagle *Circaetus cinerascens*	R-VU	F	√	√
B324	Ring-necked Francolin *Francolinus streptophorus*	R-VU/RR		√	√
B468	Rock Pratincole *Glareola nuchalis*	R-VU	WW	√	
B876	Swallow-tailed Bee-eater *Merops hirundineus*	R-NT		√	
B984	Spot-flanked Barbet *Tricholaema lacrymosa*	R-RR		√	√
B1120	White-headed Saw-wing *Psalidoprocne albiceps*	R-RR	f	√	√
B1949	Sharpe's Starling *Cinnyricinclus sharpii*	R-NT	FF	√	

Wilson (1995)によると、MFNP で確認された鳥類のうち 53%以上の種類は環境選好性のある種であった。これらの種の好む環境は主に樹林と水域であり、これらが鳥類保全上重要な場所であると考えられる。調査結果の詳細は、SEA レポートの添付資料参照のこと。

Table 7.4.4-2 Summary of habitat preferences for species recorded in the project area

Habitat preference	Number per category	
	Wilson(1995)	JICA study (2010)
Af/FF	1	
AW	1	
F	103	26
f/F	1	
FF	9	2
fW	9	2
FWW	6	1
W	41	8
WW	90	8
Grand Total	261	47

W - always resident in or near water (WW refers to a species strictly tied to a water habitat), w - often resident or observed in or near water, F -Forest resident (FF- refers to species of strictly forested habitats), f - resident in and near forests, Af - intra-African migrant,

7.4.5 両生類･爬虫類

現地調査では、3 科 12 種の両生類と 12 科 16 種の爬虫類が確認された。確認された種は次表のとおり。そのうち両生類 11 種が IUCN レッドリストの LC、1 種が DD、爬虫類はクロコダイル 1 種が LC に該当した。爬虫類は、特に立地に依存せず分布しているものが多かったが、クロコダイルは河川に、カメ類は樹木のある草地で確認されたが、Pelomedusids は、水溜りと湿地で確認された。両生類と爬虫類にとって最も重要な生息地は湿地と河川を含む渓谷である。調査結果の詳細は、SEA レポートの添付資料参照のこと。

Table 7.4.5-1 Amphibians and Reptiles of Ayago

I. Habitats Adjacent to the Nile River Banks near the point of dam placement

Name			IUCN Red List status	Survey area A			Survey area B	
	Family name	Scientific name		I	II	III	IV	V
Amphibians	Family Bufonidae	*Amietophrynus maculatus*	*Least Concern (LC)*	1	0	0	1	0
		Amietophrynus regularis	*LC*	1	0	1	1	1
		Amietophrynus vittatus	*Data deficient (DD)*	1	0	0	0	0
	Family Hyperoliidae	*Afrixalus osorioi*	*LC*	1	1	0	0	0
		Hyperolius viridiflavus	*LC*	1	0	0	1	1
		Kassina senegalensis	*LC*	1	0	1	1	1
	Family Ranidae	*Amietia angolensis*	*LC*	1	0	1	1	0
		Phrynobatrachus acridoides	*LC*	1	0	1	1	1
		Phrynobatrachus natalensis	*LC*	1	0	1	1	1
		Ptychadena anchiateae	*LC*	0	1	1	0	1
		Ptychadena chrysogaster	*LC*	0	1	0	0	0
		Ptychadena mascareniensis	*LC*	1	1	1	1	1
Reptiles	Family Gecknoniidae	*Hemidactylus brookii*	*Not evaluated*	0	1	0	0	0
	Family Scincidae	*Mabuya maculilabris*	*Not evaluated*	0	1	1	1	1
		Mabuya megarula	*Not evaluated*	0	0	0	0	1
	Family Chamaelionidae	*Chamaeleo gracilis*	*Not evaluated*	0	1	1	0	0
		Chamaeleo laevigatus	*Not evaluated*	0	0	1	0	1
	Family Agamidae	*Agama agama*	*Not evaluated*	0	1	1	1	0
	Family Varanidae	*Varanus niloticus*	*Not evaluated*	1	1	1	1	0
	Family Crocodilydae	*Crocodylus niloticus*	*Least Concern*	1	0	0	0	0
	Family Typhlopidae	*Typhlops sp.*	*Not evaluated*	0	1	0	0	0
	Family Colubridae	*Dasypeltis scabra*	*Not evaluated*	0	0	0	0	1
		Philopthamnus sp	*Not evaluated*	0	1	0	1	1
	Family Elapidae	*Naja melanoleuca*	*Not evaluated*	1	1	0	1	1
	Family Viperidae	*Bitis arietans*	*Not evaluated*	0	0	0	0	1
	Family Pelomedusidae	*Pelomedusa subrufa*	*Not evaluated*	0	1	0	0	1
	Family Testudinidae	*Geochelone pardalis*	*Not evaluated*	0	1	1	1	1
		Kinixys belliana	*Not evaluated*	0	1	0	0	1

II. Woodlands and Bushlands on the northern bank
III. The areas along the Karuma-Rabongo Forest
IV. Woodlands and Bushlands on the southern bank
V. Grassy Plains on the southern bank
Where 1= Presence and 0 = Absence

7.4.6 昆虫類（蝶類）

現地調査では 66 種の蝶類が確認された。そのうちいずれの種も IUCN レッドリストに掲載種に該当しなかった。アフリカ大陸限定の湿地依存種は確認されなかったが、14 種の樹林選好種と 1 種の湿地選好種が確認された。蝶類保全上重要な生息環境は、蝶類の種多様性の高い樹林と湿地である。調査結果の詳細は、SEA レポート参照。

7.4.7 魚類

既存文献調査より調査エリアには 8 種の魚類が生息している可能性があり、現地調査ではそのうち 5 種の魚類が確認された。IUCN レッドリスト掲載種は、LC が 7 種であった。魚類にとって保全上重要な場所は、左岸の取水口付近と Ayago 川など、比較的流域面積の大きな支流である。調査結果の詳細は、SEA レポート参照。

Table 7.4.7-1 Evaluation of the Survey Sites

	Sientific names	IUCN Red List status	Habitat preferences	Population in the survey area*																
				Left Bank						North Bank										
				Intake				Outlet		Intake		Ayago River			Outlet				Kibaa	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Survey result	*Lates niloticus*	**Least concern**	**open water; not very turbulent**	E	R		E	E	R	E	E			R		E	E	E	R	
	Barbus altianalis	**Least concern**	**open turbulent waters; upstream migrant**	R	E	R	E	E	E	E	E					E	E	E	E	E
	Mormyrus kannume	**Least concern**	**open turbulent/flowing water**	E	E	E	R	E	E	E	E			R		E	E	E	E	E
	Bagrus docmac	**Least concern**	**open flowing water**	E	E		R	E	E	E	E			R		E	E	E		
	Oreochromis niloticus	**Least concern**	**shallow non-turbulent open**	E	E	R			E	E	E	E	E	R				E		E
	Oreochromis variabilis	**Least concern**	**shallow, non-turbulent, open**			E						E	E						E	E
	Clarias gariepinus	**Least concern**	**near shore, aquatic vegetation**			E						E	E							
	Protopterus aethiopicus	**not determined**	**aquatic vegetation**			E						E	E							
	Synodontis afrofischeri	**not determined**	**upstream spawner, clean water**																	
	Synodontis victorie	**not determined**	**upstream spawner, clean water**																	
	Intermedius mystus	**not determined**	**upstream spawner, clean water**																	
	Tilapia zillii	**not determined**	**aquatic vegetation**																	
	Rastrineobola argentia	**Least concern**	**pelagic clean water**																	
	Labeo victorianus	**Threatened**	**upstream spawner, clean water**																	
	Number of species			5	5	6	4	4	5	5	5	4	4	4		4	4	5	4	4
				8				5		5		7			5				5	
Evaluation	Importance of the habitat	**Breeding, nursery, feeding, shelter/refugia**		A				B		B		A			B				B	

* **Detailed survey needed**

R Record

E Expected

7.5 Ayago地点の社会環境

7.5.1 行政区

Murchison フォールズ国立公園は、北を Amuru（2010 年 7 月に Nwoya が独立）、南を Masindi（2010 年 7 月に Kiryandongo が独立）、東を Oyam（2006 年 7 月に Apac から独立）、西を Bulisa と Nebbi の各 District（Local Council: LC5）に囲まれている。Ayago Project が位置する Survey Area B の東北部の境界線エリア（Survey Area C）に含まれる Sub-county（LC3）は、Purongo、Anaka、Koch Goma、Minakulu（2010 年 7 月に Myene が独立）、Aber、Mutunda の 6 つである。Ayago 地点周辺の行政区（2009 年時点）を Figure 7.5.1-1 に示す。

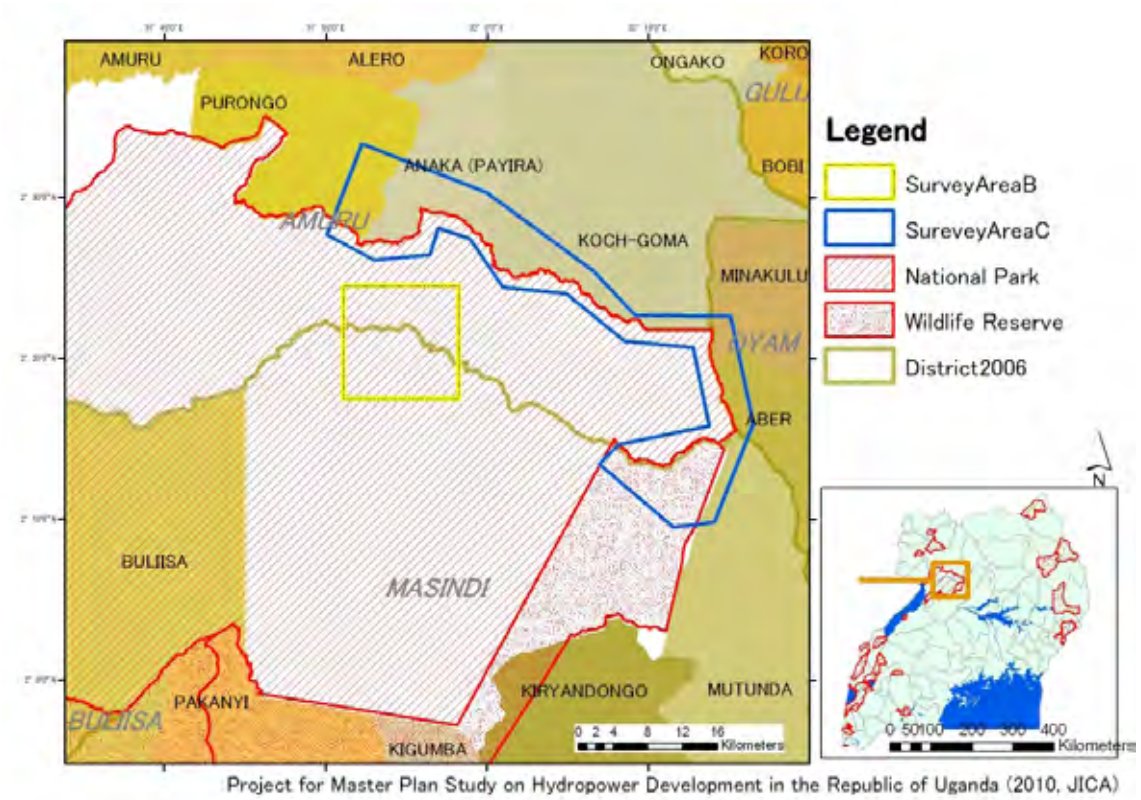
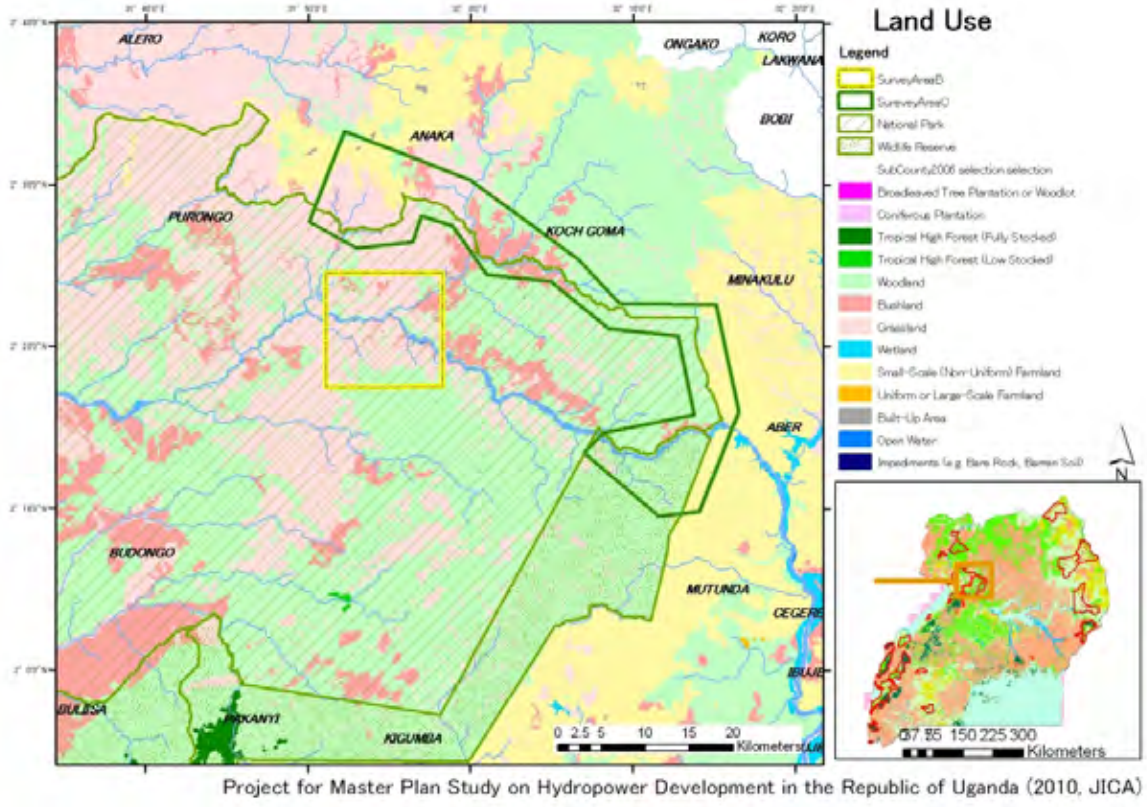


Figure 7.5.1-1 Administrative Boundaries around Ayago Site, 2009 (WGS_1984_UTM_Zone_36N)

7.5.2 土地利用と土地所有

Ayago 地点周辺の土地利用は、主に草地と荒野、低木林であり、北東部の国立公園外のアクセス道路付近（Anaka、Purongo Sub-county）や東部（Myene/Minakulu、Aber、Mutunda Sub-county）に小規模農地が広がっている。保護区の位置する南部(Mutunda Sub-county)や北部(Koch Goma Sub-county)は大部分を低木林と森林が占めている。各 Sub-county の土地利用の特徴は、Appendix D: SEA Report の Annex4 を参照。



Source: National Forest Authority, 2005

Figure 7.5.2-1　Land Use Map around Ayago Site, 2005 (WGS_1984_UTM_Zone_36N)

ウガンダ北部の土地所有の形態は、伝統的な Customary land（慣習保有地）が一般的である。この制度では、土地は人々の共有財産とみなされ、分配や売買の決定権は地域の長老や氏族（Clan）の長が持つ。一度分配された土地はその子孫に世襲される。しかしながら、女性が土地などの財産を所有することは伝統的に難しく、夫と離婚・死別した際など特別な場合のみ認められることが多い。土地所有制度の詳細は Appendix D: SEA Report の Annex4 を参照。

7.5.3　人口

Ayago 地点は国立公園内のため、居住者はいない。国立公園に隣接する Survey Area C を含む Sub-county の人口を Table 7.5.3-1 に示す。Parish レベルの男女別人口データは、添付資料 Appendix D: SEA Report の Annex5 を参照。

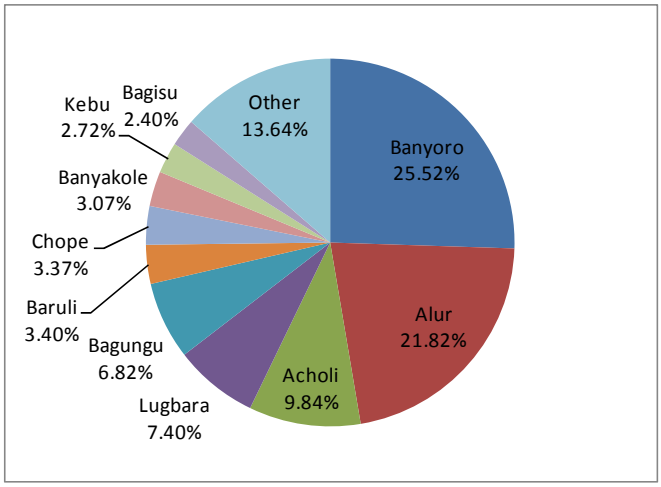
Table 7.5.3-1　Population Estimates of Survey Area C by Sex, 2010

Sub-county	Male	Female	Total
Aber	33,000	35,100	**68,100**
Anaka	7,600	8,100	**15,700**
Purongo	4,100	4,200	**8,300**
Mutunda	35,200	36,900	**72,100**
Myene/ Minakulu	26,700	26,900	**53,600**
Koch Goma	5,500	5,100	**10,600**

(Source: Sub National Projections Report Northern, Western Region 2008-2012)

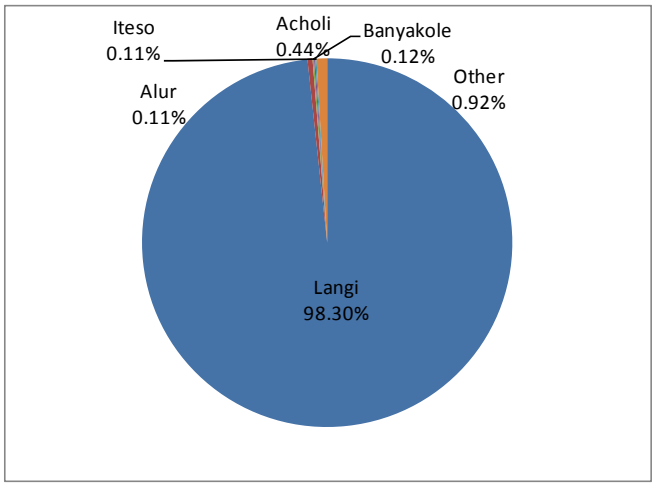
7.5.4 民族

Survey Area C を含む 3 つの District の民族構成を Figure7.5.4-1 から Figure7.5.4-3 に示す。Masindi District は多様な民族で構成されており、Banyoro が 25.52%、Alur が 21.82%を占めている。Chope は 3.37%だが、Mutunda Sub-county に多く居住している（Sub-county Three Year Development Plan for F/Y 2009/2010 – 2011/2012）。Minakulu/Myene と Aber sub-county が位置する Oyam District では、98.3%が Langi である。一方、Prongo、Anaka、Koch Goma sub-county が位置する Amuru District では、91.09%が Acholi である。国立公園に隣接する 15 の Sub-county のうち 9 つで Luo 語が主に使われている。



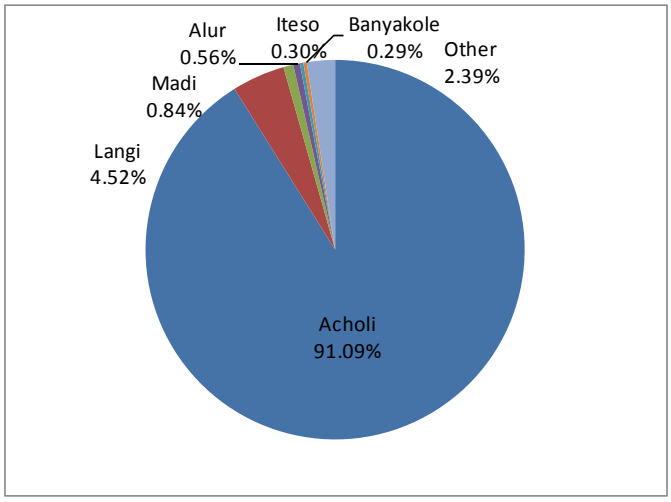
(Source: 2002 Population and Housing Census, Masindi Report)

Figure 7.5.4-1 Distribution of Population by Ethnic Groups in Masindi District, 2002



(Source: 2002 Population and Housing Census, Apac Report)

Figure 7.5.4-2 Distribution of Population by Ethnic Groups in Oyam (Apac) District, 2002



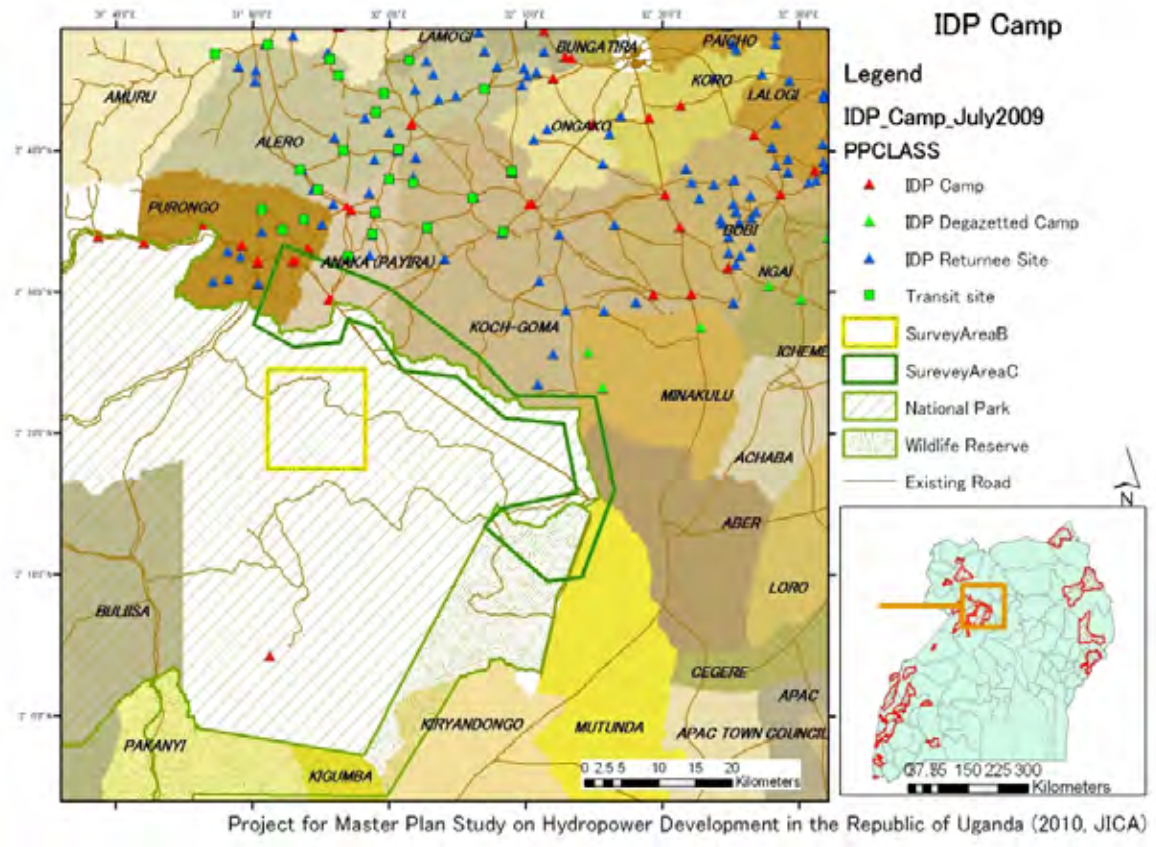
(Source: 2002 Population and Housing Census, Gulu Report)

Figure 7.5.4-3　Distribution of Population by Ethnic Groups in Amuru (Gulu) District, 2002

7.5.5　国内避難民

ウガンダ北部では 1980 年代から 20 年以上の間、「神の抵抗軍（LRA）」と呼ばれる反政府勢力が活発化し、治安の悪い状態が続いた。武力紛争は、北部の村々を荒廃させ、主要道路や町の郊外に国内避難民キャンプが多数作られた。避難民は累計 110 万人に達し（UNOCHA, 2010）、Amuru District では 2005 年時点で 34 キャンプに 257,000 人が生活していた。

Figure 7.5.5-1 に示すように、国内避難民キャンプおよび定住地は Survey Area C の北側の Amuru と Oyam District に多く存在した。



(Source: Northern Uganda Rural Road Project, 2009)

Figure 7.5.5-1 Location of Internally Displaced Persons' Camps, 2009 (WGS_1984_UTM_Zone_36N)

2006 年 8 月の停戦合意後は治安が回復し、避難民の帰還や定住が始まった。現在は生活基盤の回復に向けて、JICA を含めたドナーやウガンダ政府が復興支援を行っている。UNHCR によると、Amuru District では 2010 年 7 月 30 日までにすべてのキャンプが正式に閉鎖された。詳細は以下の表を参照のこと。

Table 7.5.5-1 Decommissioned Internally Displaced Persons' Camps in Amuru District

Date of closure	Total camps	Camps closed	Names of camps and comments
24th/25th Feb. 2010	34	15	Amuru, Atiak, Palukere, Parabongo, Awer, Guruguru, Pagak, Kaladima, Keyo, Lacor, Pabbo, Alero, Anaka, Aparanga and Purongo were closed
19th May 2010	19	18	Tegot Latoro, Lolim, Corner Nwoya, Agung, Wii Anaka, Langol, Wii Anono, Koch Goma, Olwiyo, Omee I, Omee II, Olwal, Labongogali, Bira, Otong, Olinga, Jengari and Palukere. Bibia is considered "*problematic*". Joint team lead by RDC and LCV shall hold a meeting with the community in June 2010.
30th July, 2010	0	1	Bibia, a problematic camp was closed, witnessed by UNHCRs Director of Africas Bureau.

(Source: UNHCR Gulu, December 2010)

しかしながら、Amuru District では推定 11,260 人が以前のキャンプやトランジット・サイト

に留まっている（UNHCR camp mapping data from November 2010）。彼らの中には高齢者、女性・子供世帯主、障害者、慢性疾患者など特別な支援を必要とする社会的弱者も多くいる。

7.5.6 地域経済

Survey Area C に住む世帯の多くは、自給的な零細農業で生計を立てている。2002 年国勢調査によると、自給的な農業を営む世帯の割合は Masindi で 67.4%、Amuru で 77.4%、Oyam で 94.0% である（Table 7.5.6-1）。

Table 7.5.6-1 Main Source of Household Livelihood in Survey Area C

	Masindi	Amuru (Gulu)	Oyam (Apac)
Subsistence Farming	67.4%	77.4%	94.0%
Earned Income	20.1%	9.0%	3.8%
Property Income	1.7%	10.8%	2.1%
Other	10.7%	2.8%	0.1%

(Source: 2002 Population and Housing Census 2002, District Reports of Masindi, Gulu, Apac)

主な農作物は、メイズ、キャッサバ、ミレット（ヒエ）、ソルガム、豆、ピーナツ、サツマイモ、ゴマである。自家消費で余剰が出た場合は、市場や道路沿いで売り現金収入を得ている。牛、ヤギ、豚、鶏、羊、アヒル、七面鳥などの家畜飼育も重要な経済活動である。しかしながら、長年の LRA の活動により大規模な家畜飼育は困難な状況が続いた。漁業は国立公園外の Victoria ナイルやその他の川、沼、湿地で行われているが、地元で消費される規模である。その他の経済活動としては、日用雑貨店や食料雑貨店などの零細ビジネス、レンガ作り、炭焼きなどが挙げられる。各 Sub-county の経済活動の詳細は、Appendix D: SEA Report の Annex8 を参照。

7.5.7 教育

Ayago 地点周辺の教育機関（初等学校、中等学校、高等学校）の分布を以下に示す。

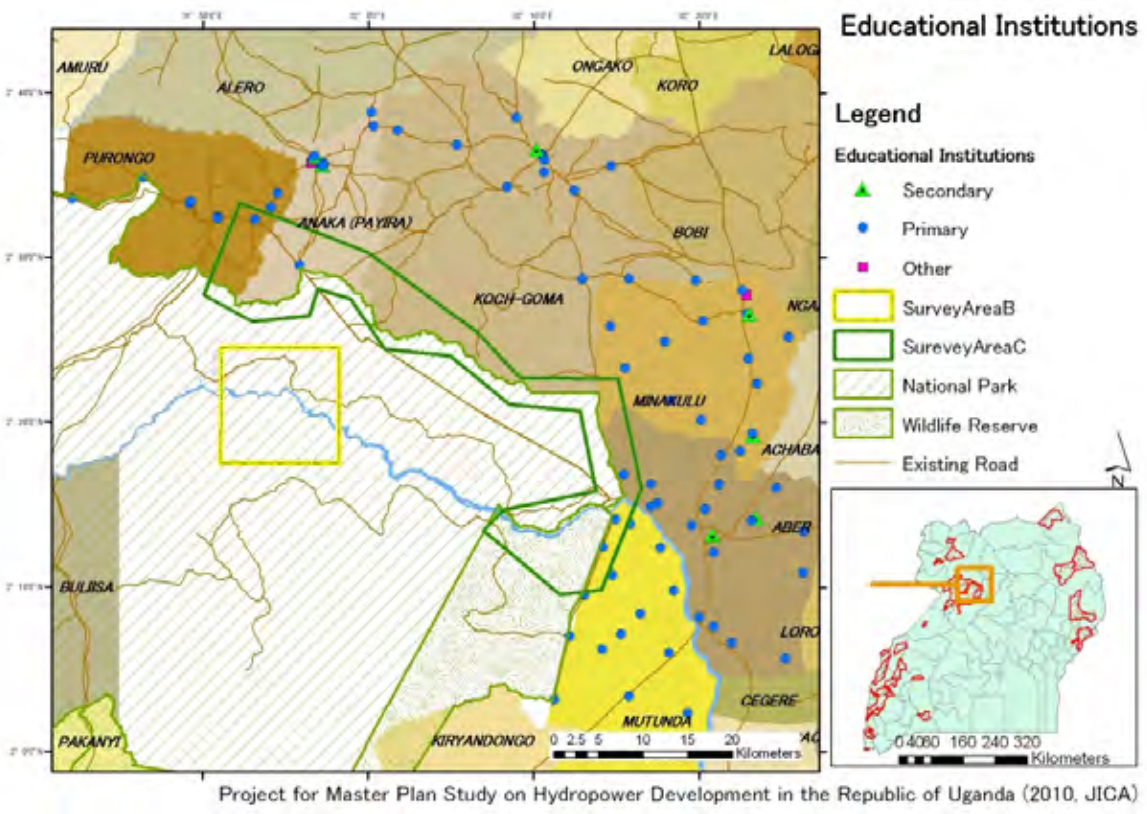
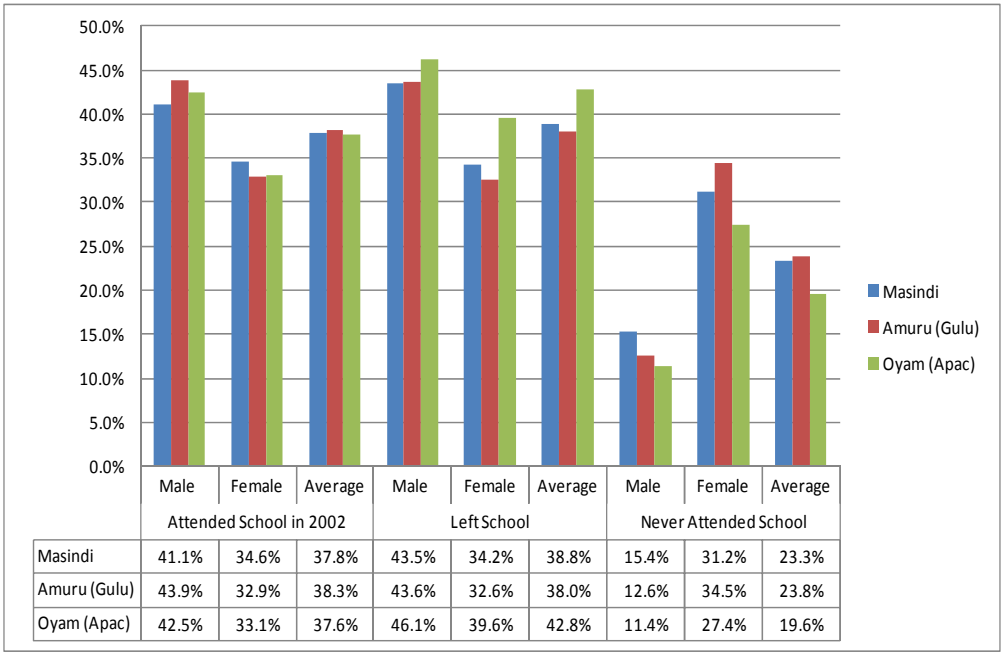


Figure 7.5.7-1　Location of Educational Institutions around Ayago Site, 2010 (WGS_1984_UTM_Zone_36N)

Survey Area C を含む 3 つの District の男女別の就学率、退学率、学校に行ったことのない割合を Figure 7.5.7-2 に示す。3 つの District ともに、男子に比べて女子の就学率が低い。女子の 25%以上が学校に行った経験がないのに対し、男子は 15%以下である。

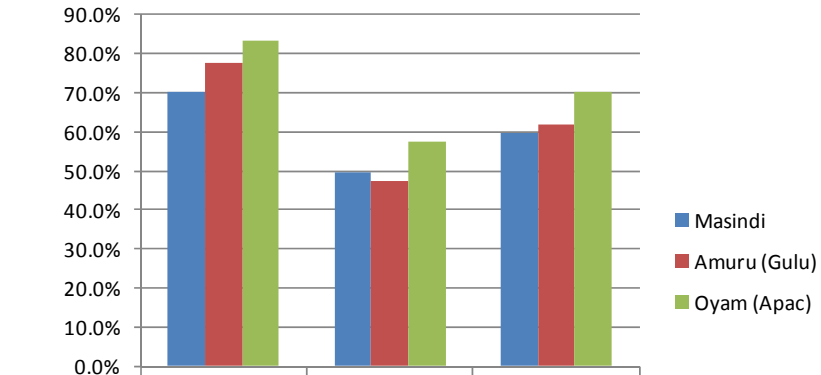


	Attended School in 2002			Left School			Never Attended School		
	Male	Female	Average	Male	Female	Average	Male	Female	Average
Masindi	41.1%	34.6%	37.8%	43.5%	34.2%	38.8%	15.4%	31.2%	23.3%
Amuru (Gulu)	43.9%	32.9%	38.3%	43.6%	32.6%	38.0%	12.6%	34.5%	23.8%
Oyam (Apac)	42.5%	33.1%	37.6%	46.1%	39.6%	42.8%	11.4%	27.4%	19.6%

(Source: 2002 Population and Housing Census, District Reports of Masindi, Gulu, Apac)

Figure 7.5.7-2　School Attendance by Sex in Survey Area C, 2002

同様に、上記 3District の女性の識字率は男性よりも低いことが、Figure 7.5.7-3 からわかる。



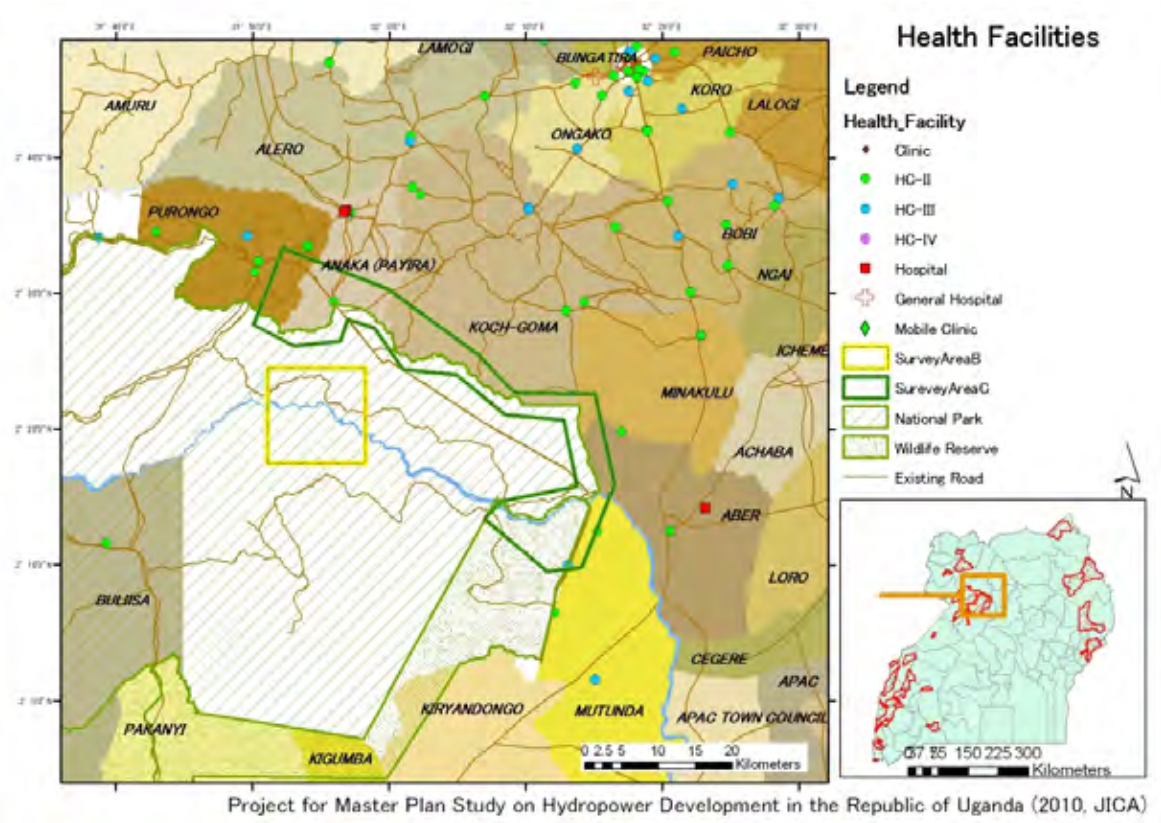
	Male	Female	Average
Masindi	70.1%	49.4%	59.7%
Amuru (Gulu)	77.7%	47.2%	62.0%
Oyam (Apac)	83.2%	57.7%	70.0%

(Source: 2002 Population and Housing Census, District Reports of Masindi, Gulu, Apac)

Figure 7.5.7-3　Literacy Rate by Sex in Survey Area C, 2002

7.5.8　保健

Ayago 地点周辺の保健施設（保健所、病院）の分布を以下に示す。



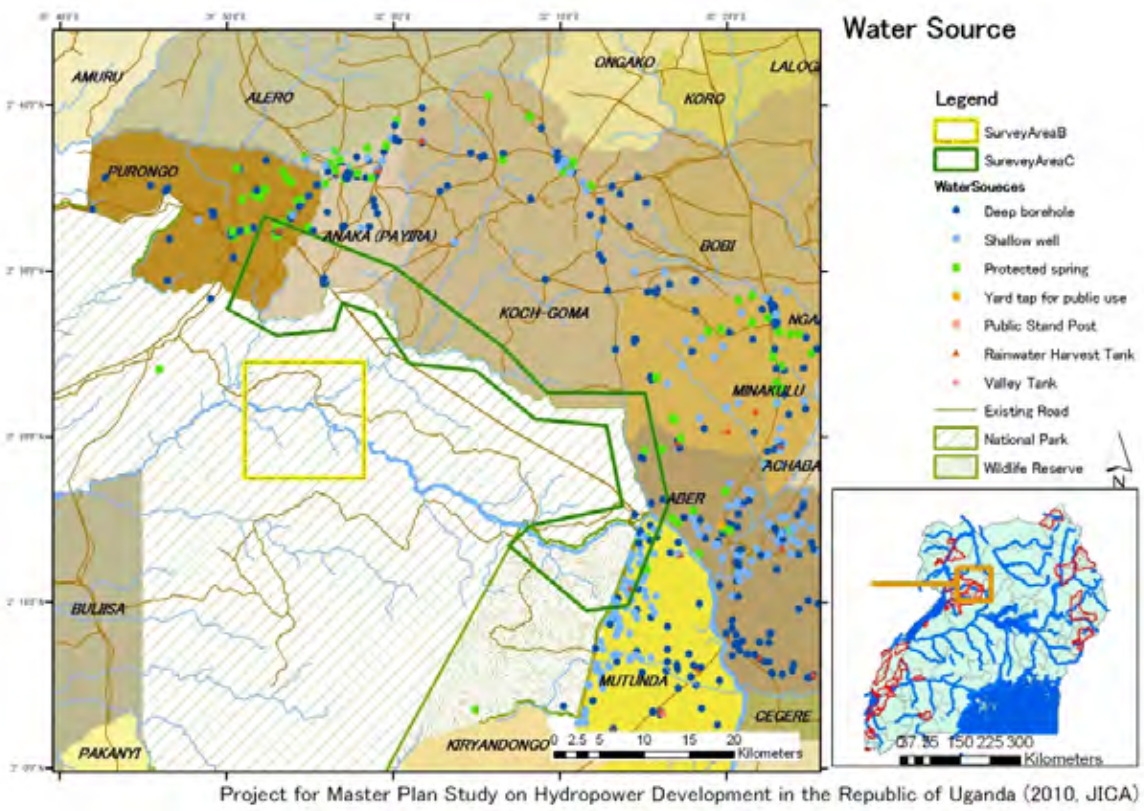
(Source: UNOCHA, 2009)

Figure 7.5.8-1　Location of Health Facilities around Ayago Site, 2010 (WGS_1984_UTM_Zone_36N)

ウガンダ政府の保健政策では、District レベルには病院を置くほか、各 Parish にはヘルスセンターII、各 Sub-county にはヘルスセンターIII と呼ばれる保健所を設置することになっている。Survey Area C には病院やヘルスセンターII、III が存在するものの、数が少なく、施設は不十分で薬や器具が不足している。また、医者や看護士の数も少なく、診察を受けるまでに長時間待たされる。そのため、個人クリニックや薬局でサービスを受ける住民も多い。

7.5.9 水の利用

Ayago 地点周辺の主な水源は、川、小川、深井戸、浅井戸、湧き水、雨水タンクである。水源の分布を下記に示す。



(Source: Directorate of Water Development, 2010)

Figure 7.5.9-1 Location of Water sources around Ayago Site, 2010 (WGS_1984_UTM_Zone_36N)

Survey Area C に住む人々の大部分が、居住地では水のアクセスができないため、水源から毎日運んでいる。Table 7.5.9-1 に示すように、1km 以上離れた水源まで歩く人々も多数いる。水運びは主に女性と子供の仕事とされているため、水源が遠い場合は他の生産活動にかける時間が制限される。

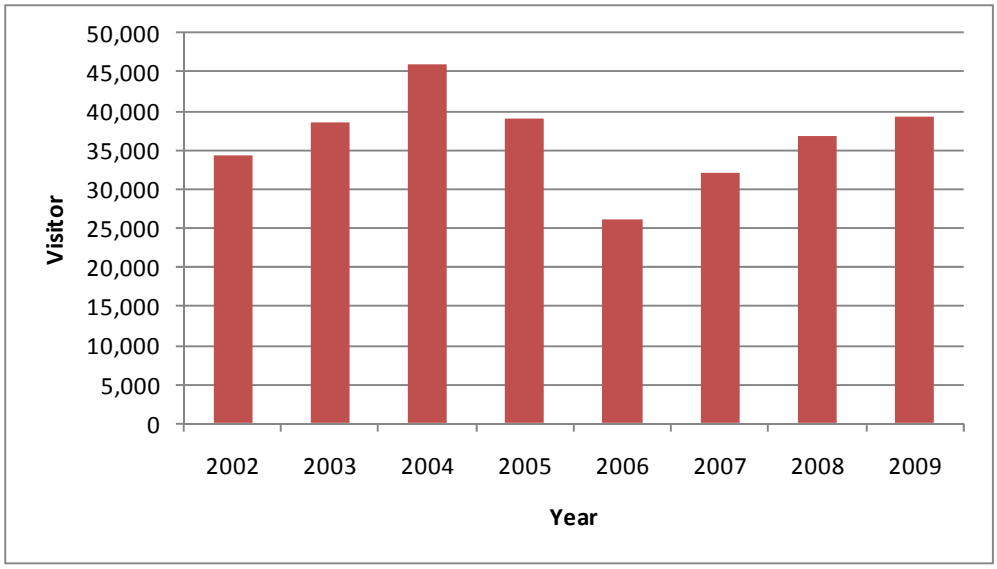
Table 7.5.9-1　Distance to Nearest Water Sources of Households by Sub County

Sub-county	Water Source		
	On premises	Up to 1km	Over 1km
Aber	163	6,287	3,532
Minakulu	312	7,100	1,056
Anaka	127	2,219	65
Purongo	104	1,419	75
Koch Goma	84	1,786	107
Mutunda	104	5,156	3,660

(Source: 2002 Population and Housing Census, District Reports of Masindi, Gulu, Apac)

7.5.10　観光業

Ayago 地点周辺の観光業は、Murchison フォールズ国立公園に依存している。UWA によると、国立公園の観光資源は十分活かされておらず、観光客も年間 5 万人以下である（Figure 7.5.10-1）。2004 年から 2006 年にかけての観光客減少は、LRA の影響による治安の悪化が原因とされている。UWA は、現在の観光客数は受け入れキャパシティーのわずか 30%から 40%と見ている。



(Source: Uganda Wildlife Authority)

Figure 7.5.10-1　Number of Visitors to Murchison Falls National Park

公園内で可能な観光アクティビティは、車または徒歩のサファリ、Murchison 滝や動物を見学するボートトリップ、スポーツフィッシングに限られている。各観光アクティビティの詳細は Appendix D: SEA Report の Annex9 を参照。

Murchison フォールズ国立公園の観光収入の内訳を Table 7.5.10-1 に示す。収入の 70%以上が入場料であることがわかる。主な観光アクティビティであるサファリ、ボートトリップ、スポーツフィッシングなどの割合は非常に低い。これは、観光客がガイドを雇わず自ら運転しながらサファリをしているためである。UWA はサファリや Murchison 滝の見学に対しても料金の設定を検討している (Performance Evaluation of the Murchison Falls Protected Area General Management Plan Report, 2007)。

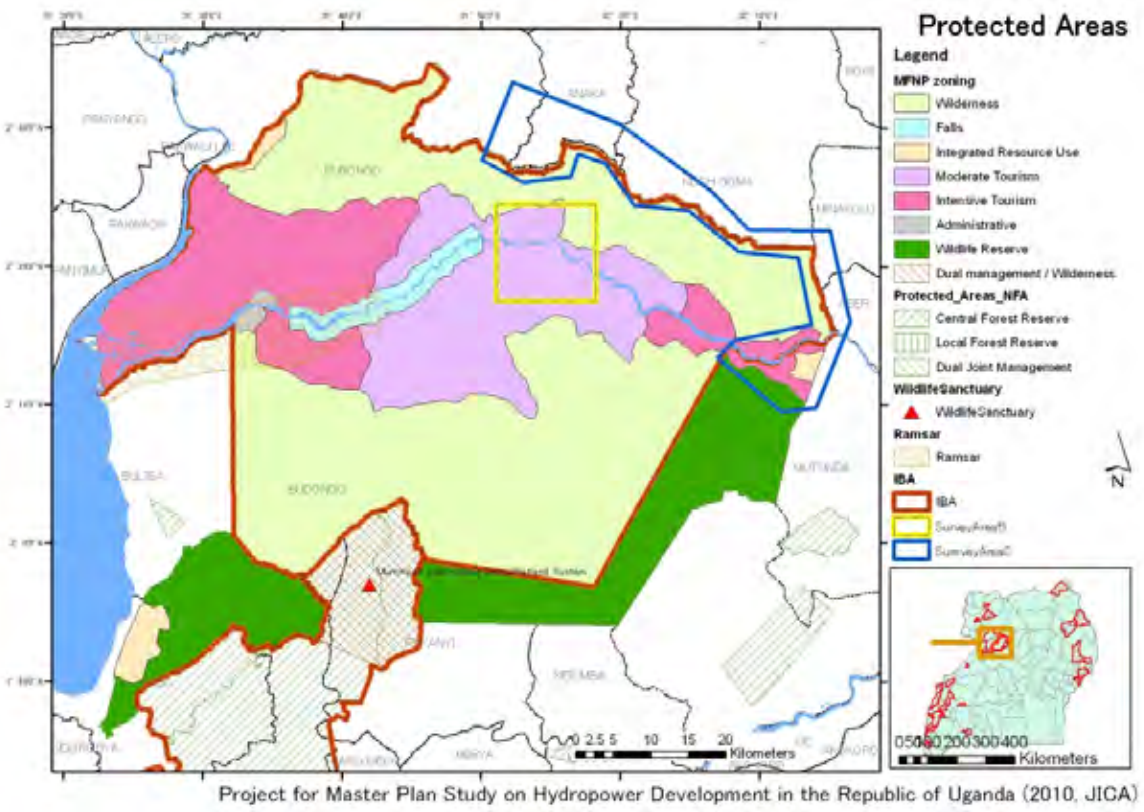
Table 7.5.10-1　Murchison Falls National Park Tourism Revenue in 2009

Tourism Activity	Annual Revenue in Ush.	%
Entrance fees (visitors)	1,649,033,319	63.7
Entrance fees (vehicles)	192,906,513	7.4
Canping fees	40,526,570	1.6
Landing fees	10,775,951	0.4
Photographic fees	29,938,677	1.2
Ranger Guide Fees	51,735,529	2.0
Ferry Crossing	301,849,052	11.7
Fishing Permits	39,960,836	1.5
Nature Walk fees	71,325,277	2.8
Lauch Hire	71,768,241	2.8
Vehicle Hire	3,941,737	0.2
Accomodation Bandas	16,452,950	0.6
Accomodation Ugandan Students	31,449,980	1.2
Boat rides	78,722,312	3.0
Total	2,590,386,944	100.0

(Source: Uganda Wildlife Authority)

公園内の観光を多様化させるため、UWA は今後、スポーツフィッシングと徒歩のサファリのエリアを拡大することや、Victoria ナイルにおけるラフティングの可能性を検討している(Murchison Falls Protected Area General Management Plan for 2001-2011)。詳細は Appendix D: SEA Report の Annex9 を参照。

国立公園では、Figure 7.5.10-2 に示すとおり、管理のためのゾーニングが設定されている。観光開発が今後進められるエリアは、Intensive Tourism Zone、Moderate (Low) Tourism Zone、Falls Zone である。Ayago 地点は Moderate (Low) Tourism Zone に含まれる。



(Source: UWA 2010, NFA 2010, Nature Uganda 2010, Ministry of Water and Environment 2008, World Database on Protected Area 2009)

Figure 7.5.10-2　Management Zones of Murchison Falls Protected Area (WGS_1984_UTM_Zone_36N)

Table 7.5.10-2 では、ゾーニングの位置づけを観光開発、資源保全、周辺住民との関わりの 3 つの視点から明らかにした。

Table 7.5.10-2 Classification of Management Zones of Murchison Falls Protected Area

Management Zones	Tourism Development	Natural Resource Management	Community Collaboration
The Falls Zone	• It was proposed for nomination for the World heritage Site list. • All developments are carefully designed to give the visitor the fullest exposure to the spectacular landscape of the Falls.	• It is the main breeding are for Nile Crocodiles. • There is the unique spray forest around the Falls.	• None
The Intensive Tourism Zone	• It comprises the launch trip to the Falls, the drive to the Falls, the drive to the Falls, game drive, walking safari, bird watching and sport fishing. Activities will continue to be promoted with a diversification of visitor experience.	• None	• None
The Moderate (Low) Tourism Zone	• It is confined to game drive, walking safari and sport fishing by concession. Development is conducted in a particularly sensitive way.	• The central part of this area is a unique habitat to almost half of the large mammals of the entire conservation area.	• None
The Wilderness Zone	• Although tourism activities suggested by operators may be allowed, the area does not appeal to tourist.	• It comprises dense bushland and thicket with low wildlife numbers. Tsetse flies are abundant. Wildlife and habitats will remain undisturbed.	• None
The Integrated Resource Use Zone	• None	• None	• Local community may use resources such as firewood and thatching materials in a sustainable manner under MoUs.
Administrative Zones	• It contains the developed areas where resources are allocated for operations and visitor accommodation.	• Environment in this zone is kept as natural as possible.	• None
Wildlife Reserve (Alternative Management Area)	• It will be offered for long-term management by concessionaries. Sport hunting may be permitted.	• Wildlife populations are low. The vegetation is thick, infested with tsetse flies.	• None

(Source: Murchison Falls Protected Area General Management Plan for 2001-2011)

7.5.11 国立公園と周辺住民の関わり

Murchison Falls Protected Area General Management Plan 2001-2011 によると、UWA は国立公園の周辺住民との関係を改善し、公園内の野生生物・資源を保全するために、以下のような目標を立てている。

- 公園内の資源保全を周辺住民との共同管理でおこなう
- 周辺住民への野生動物被害を減らす
- 公園の収益の一部を周辺住民に分配し、コミュニティのためのプログラムを実施する
- 周辺住民が持続的に公園内の資源を利用できるようなプログラムを実施する

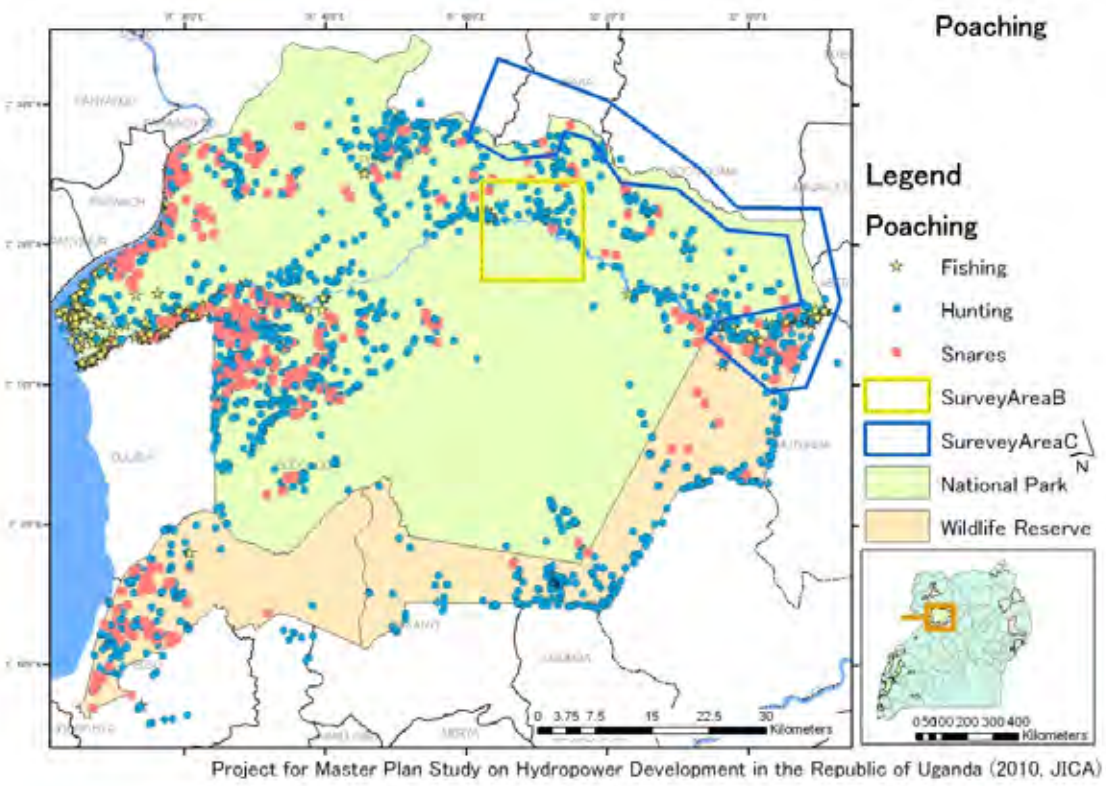
この目標に基づき、UWA は地方政府の環境委員会（Environment Committee）と共同で Community Protected Areas Institutions (CPI)を設立し、周辺住民への資源管理に関する啓発活動を行ってきた。この組織はよく機能しており、公園の収益の分配についての話し合いの場としても活用されている。

ゾウ、カバ、バブーン、バッファローなどの野生動物は、国立公園と住民の居住地の境界を自由に越えることができるため、農作物や人々へ被害を与えるケースが多く見られる。周辺住民は UWA の対策が不十分と感じており、今後の改善が求められる。

国立公園の入場料のうち 20%は周辺コミュニティに還元し、地域開発プロジェクトのために使われている（The Wildlife Statute 1996）。UWA によると、2002 年 7 月から 2009 年 6 月の間に USh.896,396,296 (約 US$487,453) がコミュニティに分配された。この使い道は上記 CPI を利用して議論され、UWA によって承認されている。主なプロジェクトの例としては、小学校建設、保健所建設、トイレ建設、道路補修、家畜飼育が挙げられるが、ゾウの被害を軽減するために公園境界線に深溝を掘った例（Koch Goma Sub-county）もあった。

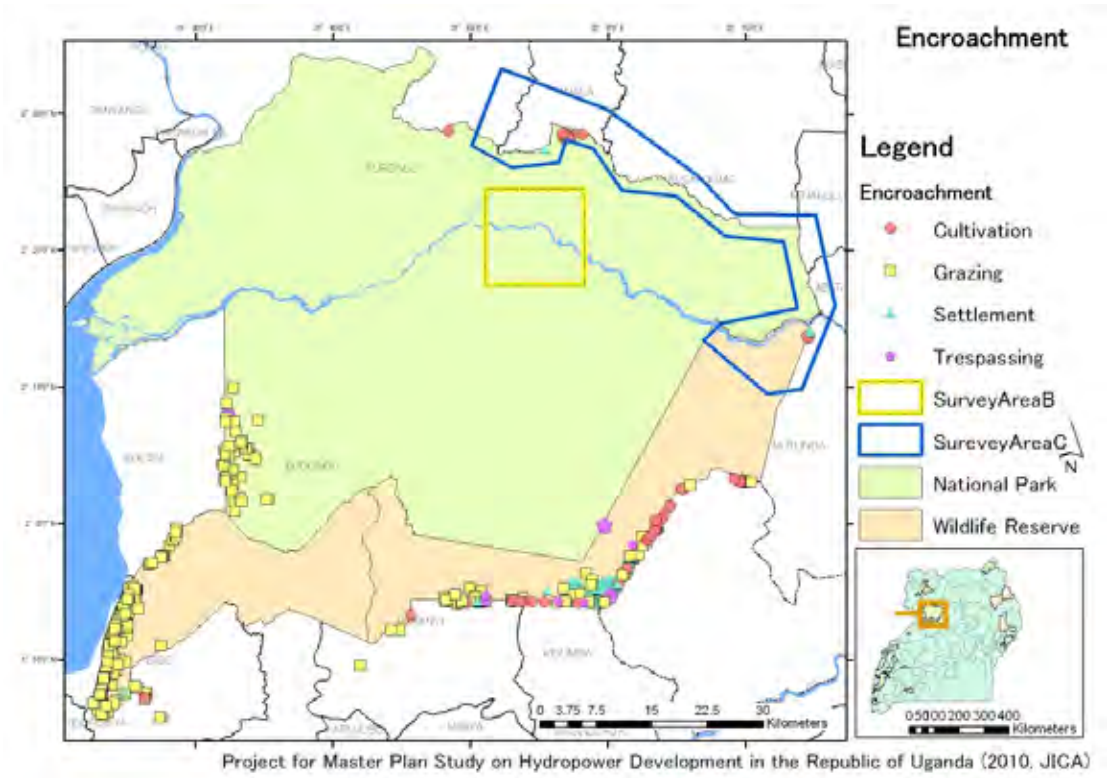
The Wildlife Statute 1996 によると、UWA の Executive Director の許可がない限り、公園内の資源を持ち帰ることはできない。しかしながら、UWA は周辺住民を野生生物や資源の保護に欠かせない存在と見ており、公園内へのアクセスを一部許可する制度を設けている。共同管理という概念のもと、UWA は周辺住民グループと Memoranda of Understanding (MoU)を取り交わし、両者の責任分担、資源採取の項目、場所、期間、頻度、量、合意内容に背いた場合のペナルティについて規定している。この MoU により、周辺住民は公園内で魚、草、薪、ハーブなどを採取することができるようになると同時に、公園内の資源保護の役割も担うようになった。

しかしながら、資源の共同管理を進める一方で、以下の図が示すように密猟や耕作を目的とした住民による公園内への不法立ち入りも後を絶たない。



(Source: UWA)

Figure 7.5.11-1 Location of Poaching in Murchison Falls Protected Area, 1989-2009 (WGS_1984_UTM_Zone_36N)

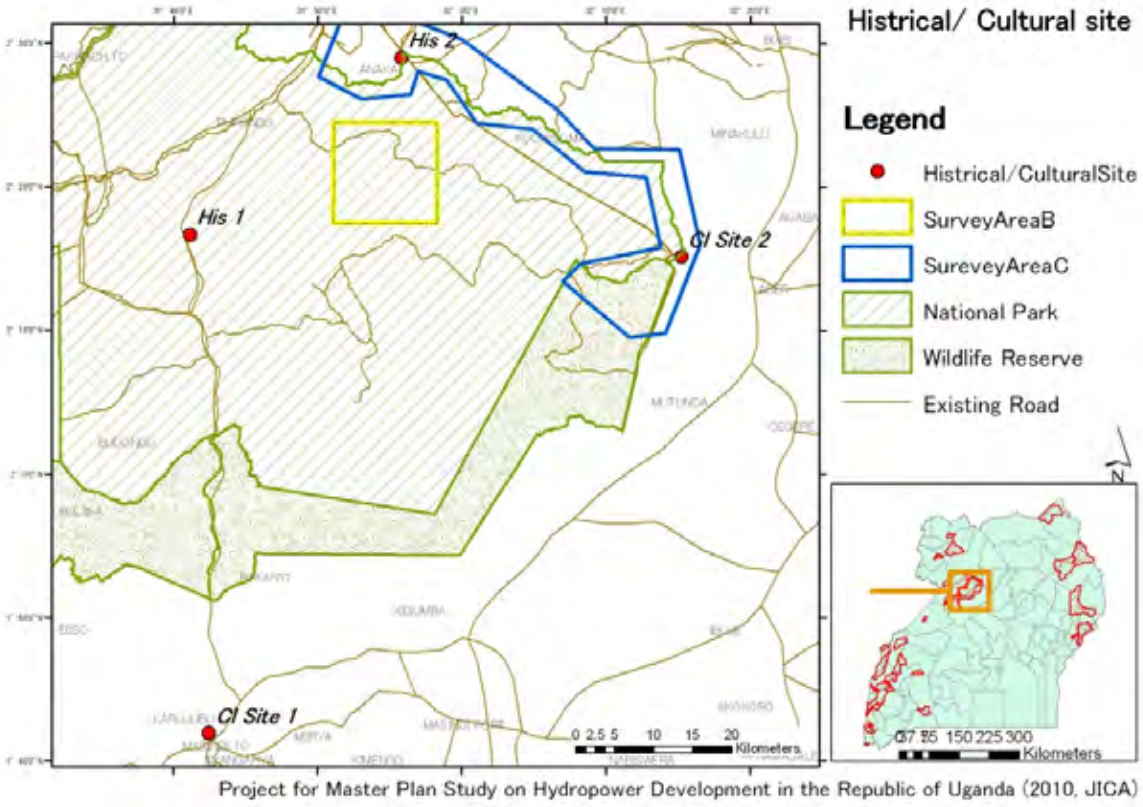


(Source: UWA)

Figure 7.5.11-2 Location of Encroachment in Murchison Falls Protected Area, 1989-2009 (WGS_1984_UTM_Zone_36N)

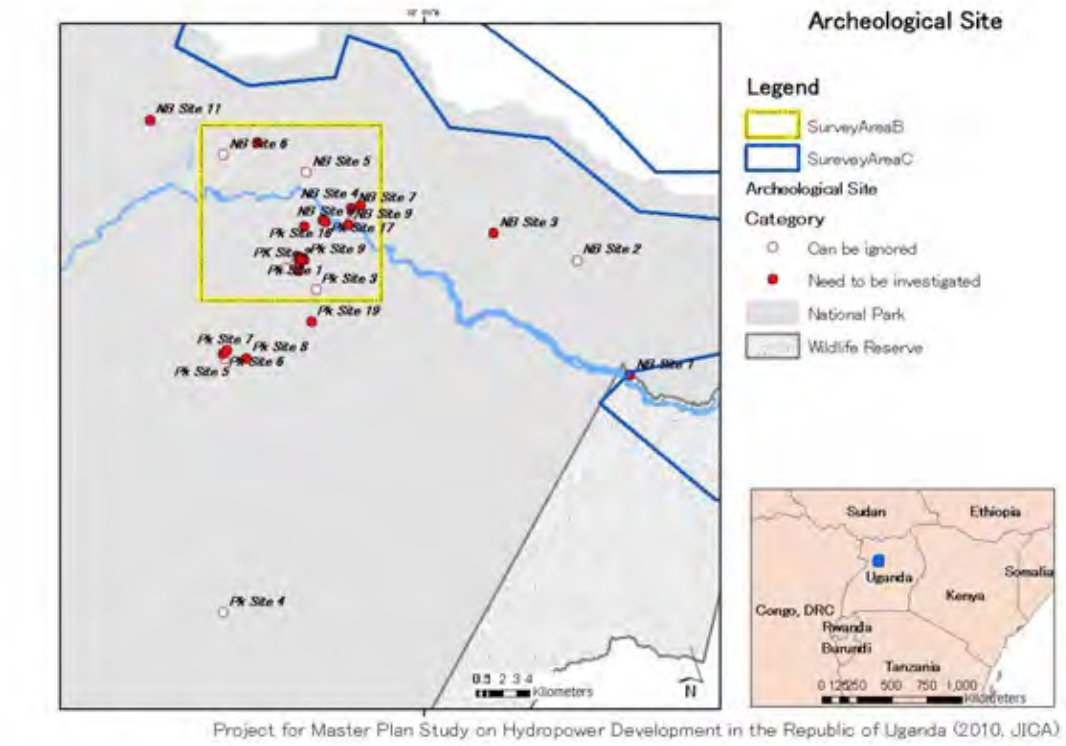
7.5.12　文化・歴史遺産・遺跡

Ayago 地点周辺の文化・歴史遺産・遺跡の分布を以下に示す。4 つの文化・歴史遺産はウガンダ政府に登録された地点である。遺跡はプロジェクトエリアで多数見つかっているが、北部地域に通常見られるレベルが多い。その他の遺跡の重要性を検証するには、今後より深い発掘作業と詳細な分析が必要である。各地点の詳細は Appendix D: SEA Report の Field Survey Sheet: Culture and Archaeology を参照のこと。



(Source: Study Team, 2010)

Figure 7.5.12-1　Location of Cultural and Historical Sites around Ayago Site, 2010 (WGS_1984_UTM_Zone_36N)



(Source: Study Team, 2010)

Figure 7.5.12-2 Location of Archaeological Sites around Ayago Site, 2010 (WGS_1984_UTM_Zone_36N)

7.6 開発方式および最適レイアウト検討

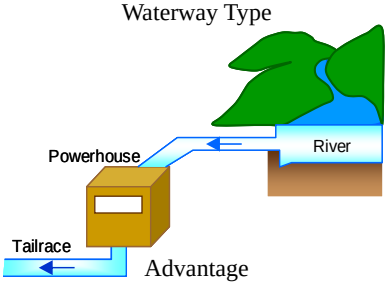
7.6.1 開発方式の種類と特性

水力発電計画の開発方式には発電運用上の特性による分類として流れ込み式、調整池式、貯水池式の３とおりに分類される。また、落差を得るための構造上の特性により水路式、ダム水路式、ダム式の３とおりの方式に分類される。各々の開発方式の一般的な概要と特性を Figure 7.6.1-1 に示す。

一般に、水力開発の対象となる河川は流量、落差、地形、地質、社会・自然環境等の特性が千差万別であり、水力開発地点のポテンシャルを最大限かつ効率的に開発するには各々の地点特性に最適な開発方式を選定しなければならない。

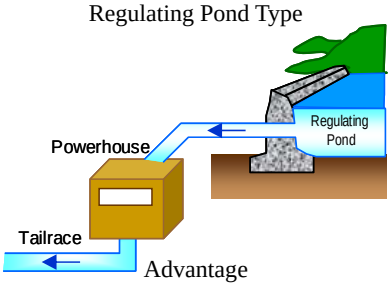
Development Type by Water Utilization

Waterway Type



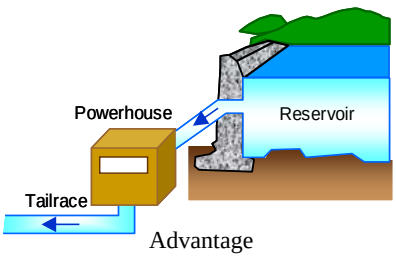
Advantage
Simple structure without dam
Less environmental impact
Disadvantage
Base load and natural runoff

Regulating Pond Type



Advantage
Peak power operation by daily regulation
Disadvantage
Topography for regulating capacity is needed

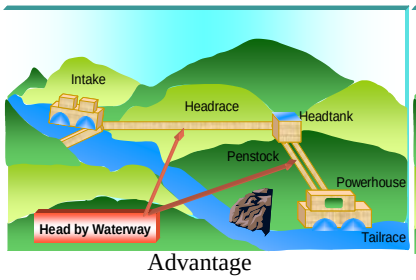
Reservoir Type



Advantage
Peak power operation
Seasonal or yearly regulation
Disadvantage
Topography for reservoir is needed
Environmental impact

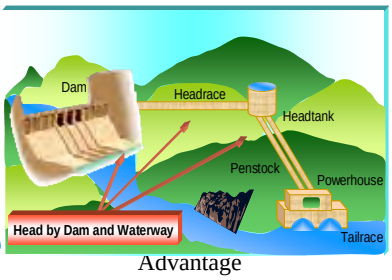
Development Type by Structure

Waterway Type



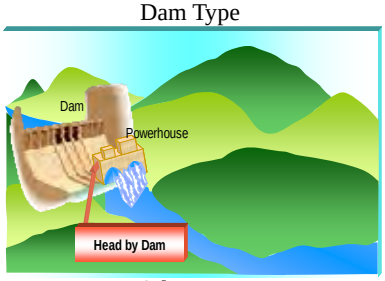
Advantage
No dam and less environmental impact
Less geological risk
Disadvantage
Not suitable for gentle river gradient
In general, utilization of potential is low
River flow reduction at waterway section

Dam and Waterway Type



Advantage
Efficient utilization of head in gentle and steep river gradient
Disadvantage
Suitable topography and geology for dam
Environmental impact by dam
River flow reduction at waterway section

Dam Type



Advantage
Efficient utilization of head at gentle gradient river
Disadvantage
Suitable topography and geology for dam
Environmental impact by dam

Figure 7.6.1-1 Development Type