

2012 年度

修士論文

紅海沿岸部におけるヒトコブラクダの採食と  
ヒルギダマシ (*Avicennia marina*) 林の変動

21131020 多仁 健人

指導教員 国際環境情報学 教授 星野 仏方

酪農学園大学大学院酪農学研究科

目次

目次

表目次

図目次

## 第 1 章 序論

- 1.1 研究の背景
- 1.2 本研究の目的
- 1.3 研究対象

## 第 2 章 研究の方法

- 2.1 研究対象地概要
- 2.2 異なる採食圧におけるヒルギダマシの分光特性の違い
  - 2.2.1 現地調査
  - 2.2.2 分光放射計による正規化植生指数の地上計測
  - 2.2.3 衛星データベースの NDVI マップの作成
    - 2.2.3.1 データ収集
    - 2.2.3.2 衛星データの補正
    - 2.2.3.3 NDVI（正規化植生指数）値の計算と衛星データ解析

## 2.3 ヒトコブラクダトラッキングと採食

### 2.3.1 現地調査

### 2.3.2 滞在時間の表示

### 2.3.3 行動圏の推定

## 2.4 マングローブ林分布動態

### 2.4.1 マングローブ林の面積変動

### 2.4.2 変化抽出 (Change detection)

## 第3章 結果

### 3.1 採食圧の違いによるヒルギダマシの分光特性の違い

#### 3.1.1 調査地植物の分光特性ーメスキートとの比較

#### 3.1.2 調査地植物の NDVI 値の比較

### 3.2 ヒトコブラクダのトラッキングと採食

#### 3.2.1 Site1 冬季トラッキング

#### 3.2.2 Site1 夏季トラッキング

#### 3.2.3 Site2 夏季トラッキング

#### 3.2.4 ヒトコブラクダのヒルギダマシ採食量

### 3.3 マングローブ林分布動態

#### 3.3.1 マングローブ林の面積変動

#### 3.3.2 変化抽出 (Change detection)

## 第 4 章 まとめ

4.1 異なる採食圧におけるヒルギダマシの分光特性の違い

4.2 ヒトコブラクダトラッキングと行動圏

4.3 マングローブ林分布動態

## 第 5 章 考察

Abstract

謝辞

引用文献

表目次

表 1 Detail of Landsat Sensor . . . . . 17

表 2 The NDVI value of the vegetation in study area . . . 25

表 3 The movement distance and area of camels based on GPS tracking . . . . . 39

表 4 The browsing amount for 10 minutes of camel in Dec. 2011 . . . . . 40

表 5 The browsing amount for 10 minutes of camel in Aug. 2012 . . . . . 41

图目次

图 1 Resource patch accessibility and availability in the coastal zones of the arid tropics . . . . . 9

图 2 *Avicennia marina* formed of camel line and camel in Port Sudan . . . . . 9

图 3 The study area . . . . . 14

图 4 NDVI map of study area . . . . . 19

图 5 Spectral characteristics of the vegetation in research area . . . . . 24

图 6 Relationships between grazing pressure and NDVI . . 26

图 7 GPS tracking of camel in site1 in Dec.23, 2011 . . . . 28

☒ 8	GPS tracking of camel in site1 in Dec.24, 2011 . . . .	28
☒ 9	GPS tracking of camel in site1 in Dec.25, 2011 . . . .	28
☒ 10	GPS tracking of camel in site1 in Dec.26, 2011 . . . .	29
☒ 11	GPS tracking of camel in site1 in Dec.27, 2011 . . . .	29
☒ 12	GPS tracking of camel in site1 in Aug.3, 2012 . . . .	31
☒ 13	GPS tracking of camel in site1 in Aug.4, 2012 . . . .	31
☒ 14	GPS tracking of camel in site1 in Aug.5, 2012 . . . .	31
☒ 15	GPS tracking of camel in site1 in Aug.6, 2012 . . . .	32
☒ 16	GPS tracking of camel in site1 in Aug.7, 2012 . . . .	32
☒ 17	GPS tracking of camel in site1 in Aug.8, 2012 . . . .	32
☒ 18	GPS tracking of camel in site1 in Aug.9, 2012 . . . .	33
☒ 19	GPS tracking of camel in site1 in Aug.10, 2012 . . . .	33
☒ 20	GPS tracking of camel in site1 in Aug.11, 2012 . . . .	33
☒ 21	GPS tracking of camel in site1 in Aug.12, 2012 . . . .	34
☒ 22	GPS tracking of camel in site1 in Aug.13, 2012 . . . .	34
☒ 23	GPS tracking of camel in site2 in Aug.3, 2012 . . . .	36
☒ 24	GPS tracking of camel in site2 in Aug.4, 2012 . . . .	36
☒ 25	GPS tracking of camel in site2 in Aug.5, 2012 . . . .	36
☒ 26	GPS tracking of camel in site2 in Aug.6, 2012 . . . .	37
☒ 27	GPS tracking of camel in site2 in Aug.7, 2012 . . . .	37

☒ 28	GPS tracking of camel in site2 in Aug.8, 2012 . . . .	37
☒ 29	GPS tracking of camel in site2 in Aug.9, 2012 . . . .	38
☒ 30	GPS tracking of camel in site2 in Aug.10, 2012 . . . .	38
☒ 31	GPS tracking of camel in site2 in Aug.11, 2012 . . . .	38
☒ 32	GPS tracking of camel in site2 in Aug.12, 2012 . . . .	39
☒ 33	GPS tracking of camel in site2 in Aug.13, 2012 . . . .	39
☒ 34	The proportion of browsing for 10 minutes of camel in Dec. 2011 . . . . .	40
☒ 35	The proportion of browsing for 10 minutes of camel in Aug. 2012 . . . . .	41
☒ 36	Dynamics change of mangrove forest area during 1984 to 2005 . . . . .	43
☒ 37	Change detection of mangrove forest in study area . . . .	45

## 第 1 章 序論

### 1.1 研究の背景

スーダン共和国の紅海沿岸部に暮らすベジャ族 (Beja) はエジプト、スーダン、エリトリアの 3 カ国を居住地にしており、人口は推定 62 万人 (1970 年) である (Holt, 1960; Morton, 1993)。ベジャ族はヒトコブラクダを中心とした牧畜をなりわいとしてきた (al-Maqrizi, 1970)。この地域は植物地理的ゾーンとしては「半沙漠草地・灌木地」に分類されるサーヘル移行帯で、元々の年間降水量が少ない上に年間降水量の変動率も高く、人々が生活していくうえで過酷な自然環境となっている。このような半乾燥地でヒトが消化吸収できない植物層を家畜を通して肉や乳に利用することによって成り立つ生活様式が発達してきた (縄田, 2005)。また、牧畜民には家畜飼養に当てられるだけの量と質を併せ持った水が必要だが、彼らは家畜を媒介して質の劣る水資源を効率的に利用してきた。このような半乾燥地で、ヒトコブラクダは他の家畜がアクセスできない隆起サンゴ礁島でのマングローブ採食行動が可能である (図. 1) うえ、塩分濃度の高い、質の劣る水資源も飲むことができる (縄田, 2004)。このように他の家畜が利用できない資源パッチや水を利用できるラクダからできるミルクや肉が牧畜民のなりわいを支えており、乾燥への順応性

の高いヒトコブラクダはアフリカ大陸紅海沿岸部に暮らす人々の生計経済の重要な役目を担ってきた(Nawata, 2001)。ヒトコブラクダの摂食は、アカザ科を中心とした半灌木の塩生植物と常緑のマングローブの枝葉、種子に大きく依存し、嗜好性が最も高いカテゴリーに分類されるが、逆に甘性植物の嗜好性の高いカテゴリーに分類されない。しかし、ヒトコブラクダの嗜好性が最も高く、大きく依存しているマングローブ生態系は牧畜民とは関わりの希薄な対象としてみなされてきた。

一方、現在世界のマングローブ面積は約 1,810 万 ha だが、マングローブ林は環境の変化に敏感で、潮汐変化や海水温度、地球温暖化などの影響により 1980 年から 2000 にかけてその面積は約 3 分の 2 に減少した(FAO, 2003)。紅海沿岸部でのマングローブ林も面積を減らし、現在では研究対象地でのマングローブはヒルギダマシ(*Avicennia marina*)一種のみとなっている。研究対象地では成獣オスが首を伸ばして届く高さ以下の葉がないヒルギダマシ個体が存在し、この現象は「キャメルライン」と呼ばれ、ヒトコブラクダの過度の採食が原因と思われていたが、ヒトコブラクダのヒルギダマシ採食の影響の十分な研究はなされていない(図.2)。

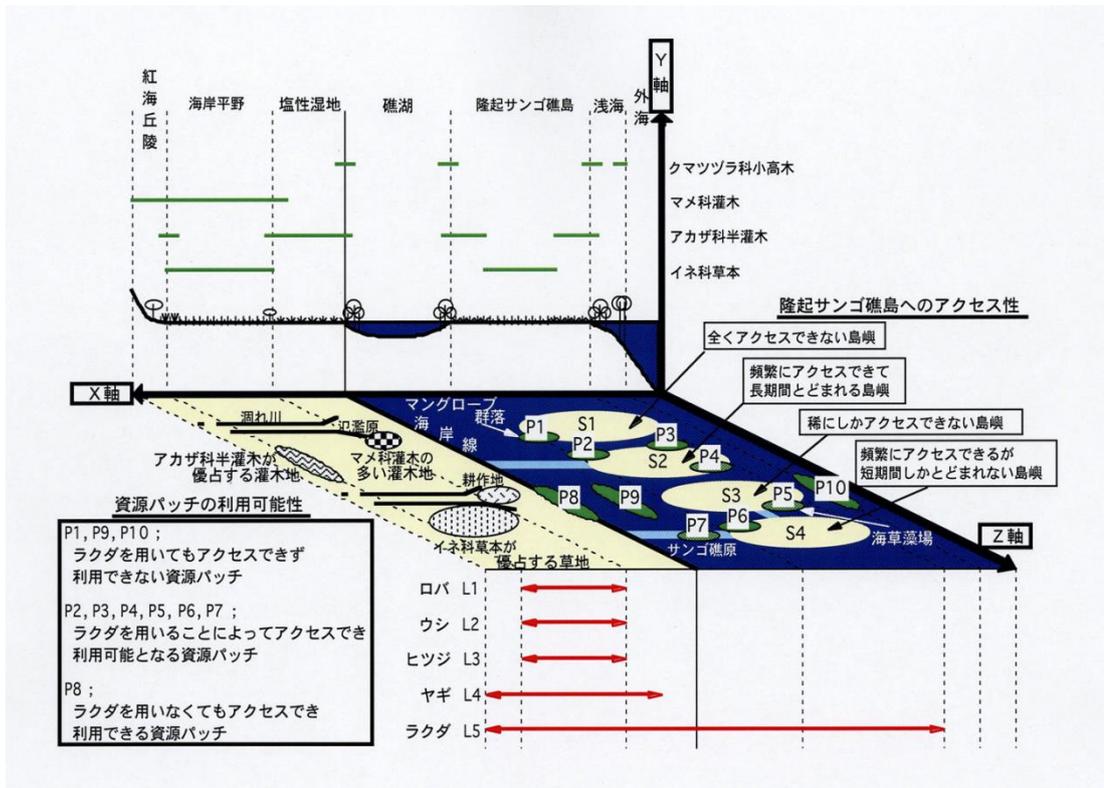


図 1. Resource patch accessibility and availability in the coastal zones of the arid tropics (縄田, 2005)



図 2. *Avicennia marina* formed of camel line and camel in Port Sudan

## 1.2 本研究の目的

本研究ではリモートセンシング技術と現地調査によってヒルギダマシの分布動態とヒトコブラクダの行動を解析し、紅海沿岸部におけるマングローブ林の変動とヒトコブラクダの採食行動との関係を明らかにする事である。

### 1.3 研究対象について

研究対象地のマングローブ林の樹種はヒルギダマシ (*Avicennia marina*) 一種のみ。日本では絶滅危惧種 I B 類 (EN) に指定されている。干潟の泥の中に放射状に広く水平に根を張り、高さ数 cm 程度の柔らかい筍根と呼ばれる呼吸根を土壌表面より垂直に突き出す。種子ができるのは 1 月頃で、ヒトコブラクダの格好の餌となっている。

研究対象地の家畜ヒトコブラクダは日中放牧され、主にヒルギダマシとアカザ科の塩生植物を採食する。日没前にヒトコブラクダ牧畜民の家に戻り、ソルガムなどの穀物で出来た飼料を与えられる。夜間は脚を曲げて縄でくくり、移動制限をしている。ヒトコブラクダは浅い海なら砂州を歩いて渡ることができ、摂食はアカザ科を中心とした半灌木の塩生植物と常緑のマングローブの枝葉、種子に大きく依存し、嗜好性も最も高いカテゴリーに分類されるが、逆に甘性植物の嗜好性は高いカテゴリーに分類されない。

## 第 2 章 研究の方法

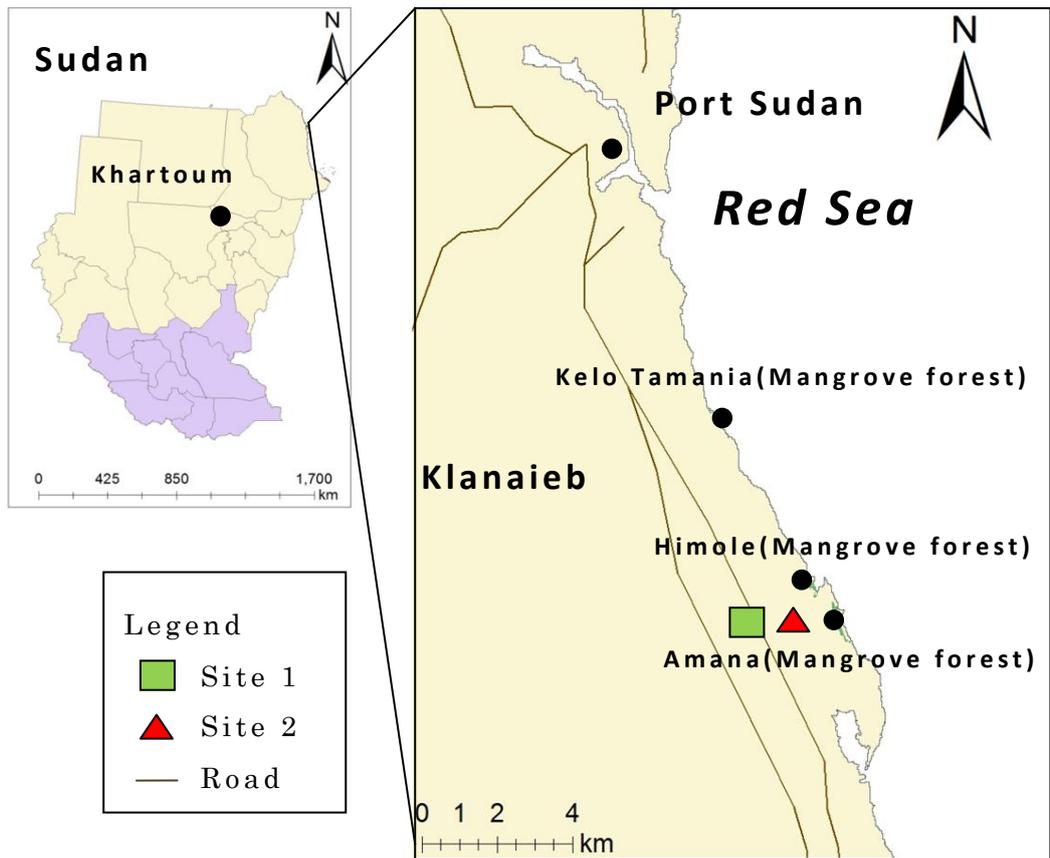
### 2.1 研究対象地概要

現地調査は、スーダン共和国紅海州の州都であるポートスーダンの南に位置する Klanaieb 地方のマングローブ林および家畜ヒトコブラクダを飼育している村で行った。この地域ではマングローブ林の群落ごとに名前を付けており、調査したマングローブ林の名前はそれぞれ、ポートスーダンから南に約 8km 南に位置する「Kelo Tamania」、約 13km に位置する「Himole」。Himole から水路を隔てて約 1km 南に位置する「Amana」となっている。また、トラッキング調査の対象としたヒトコブラクダを飼育している牧畜民の家は Amana の西側、約 1km の場所に位置している Site1、Site2 とした(図. 3)。Site1 では冬季のヒトコブラクダ飼養数が 53 頭、夏季が 20 頭。Site2 では夏季の飼養数が 3 頭となっている。ポートスーダンから Klanaieb 地方にかけては海岸平野(coastal plain)となっており、標高差はほぼない。2000 年に塩田区画整備のため作られた水路のよってヒトコブラクダのアクセスが困難になった Himole と、ヒトコブラクダのアクセスが容易で大きな面積を持つ Amana を比較対象とするため、ヒトコブラクダ飼育が盛んなこの地域を調査対

象として選択した。

紅海州は紅海丘陵部の山岳部(東側斜面を除く)と、その西側に当たる西部平野では夏雨型であるのに対し、調査地域である東側海岸平野部では 11～1 月の期間に降雨の 70～90%が集中する極端な冬雨型であり、モンスーンの影響で冬季は南よりの風になる。つまり、冬季(10月から5月)は南東の風、夏季(6月から9月)は北西の風と風向きが変化する。一年で最も潮位が高いのは 11-4月で平均 8 c m、最低は 8月の約 - 15 c m、その差は 23 c mで一日の潮位変動の変動はわずか 6 c mである(Osman, 1984)。

紅海州の主要都市の年間平均降水量は 150mm以下であり、スーダンの首都のハルトウムよりも少なくなっている。また降水量は非常に不安定であり、紅海州においては 1954年、1973年、1981年、1984年、1985年、1986年に大規模な干ばつが発生している。年間平均気温は 28.3℃、年間降水量は 80.2mmである。



☒ 3. The study area

## 2.2 採食圧の違いによるヒルギダマシの分光特性の違い

### 2.2.1 現地調査

2012年7-8月に現地調査を行った。フィールドで植物の分光放射を計測し、得られたデータを参考にして近赤外と赤の光域のデータから NDVI マップを計測した。

### 2.2.2 分光放射計による正規化植生指数の地上計測

分光放射計による正規化植生指数の地上計測は、FieldSpec-HandHeld (©ASD社)を使用し、ヒトコブラクダが食する 1)陸域の外来植物メスキート(*Prosopis juliflora*)、2)陸域の塩生植物スアエダ(*Suaeda monica*)、3)マングローブ林沖側の採食圧の高いと思われるヒルギダマシ 4)採食跡のないヒルギダマシ、5)キヤメルラインが形成されて新しい採食跡のないヒルギダマシ、6)葉のないヒルギダマシである。

### 2.2.3 衛星データベースの NDVI マップの作成

#### 2.2.3.1 データ収集

衛星データの解析に使用したデータは、米国 USGS が提供するオルソ補正済みのランドサット衛星データを使用した。ダウンロードした衛星データは、LANDSAT 7-ETM+ (撮影日:2005年2月23日、

解像度：30m, Path/Row:171/46)である。衛星データにキャリブレーション (Calibration) を行い、DN (デジタルナンバー) の値を反射率の値に変換した。

また、GoogleEarth (©Google 社) に掲載されている GeoEye 社の GeoEye-1 (撮影日：2011年11月14日、解像度：165cm) の衛星画像からマングローブ林の周囲にポリゴンを作り情報を抽出しデジタル化してから GIS のフォーマットに変換し使用した。

LANDSAT は、アメリカ航空宇宙局 (NASA) などが打ち上げている地球観測衛星である。1972年に1号機が打ち上げられて以来、現在7号機まで打ち上げられている。

LANDSAT-5 の観測機器は、多重スペクトル捜査計 (MSS) とセマティックマッパー (TM) の2つのセンサを搭載している。MSS は、光学系と検出器を組み合わせ、地表面からの太陽反射光を4つの波長帯に分けて観測する光学センサである。TM は MSS より高度化した観測装置で、地表面を可視光域から熱赤外域まで7つの波長帯で観測する。30m という高い空間分解能と短波長赤外線域に設けられた2つのバンドが大きな特徴である。特にバンド7はユーザーの要望により、地質や地下資源探査用に後から追加された。LANDSAT-TM のセンサの詳細は表.1 に示す。

表 1. Detail of Landsat Sensor

Band	Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Electromagnetic Wave	Resolution (m)
1	0.45-0.52	Blue	30
2	0.52-0.60	Green	30
3	0.63-0.69	Red	30
4	0.75-0.90	Near IR	30
5	1.55-1.75	Short wave IR	30
6	10.4-12.5	Thermal IR	30
7	2.08-0.35	Short wave IR	30

IR = Infrared Radiation

#### 2.2.3.2 衛星データの補正

測定対象物からの放射や反射された輻射を観測したとき、得られた信号には対象物固有の性質だけでなく、センサと対象物との間に存在する大気からの放射や減衰の影響も含まれている。これらの影響を観測によって得られデータから除去することを指し、大気効果補正ともいう。画像の「幾何補正」に対する場合の「放射量補正」と同義に使われることもある。この場合は大気だけでなく、センサ特有の違いによる影響の補正も含まれる。

大気補正は一般的に画像処理によるデータの解析前処理として、観測データ間の演算によって行うが、時には地上における大気の放射測定データや視程などの補助情報を利用する方法も用いられる。

大気補正の演算には、大気の散乱とヘイズの影響の除去のために、観測波長帯ごとに観測値から一定値を差し引くという簡単なものか

ら、バンド間の比演算，さらには三つのバンドを用いた差の比、差の和の比などといった多くの複雑な演算まで提案されている、いずれも大気中の放射伝達モデルに基づき，さらに近似や仮定を行って導き出された演算である。

なお、可視光の波長帯と赤外の波長帯とでは放射伝達の形式が異なるため、大気補正の演算も異なることに注意を要する。

本研究では、衛星画像解析ソフトウェア ENVI v4.7 (©ITT 社) を使用し、バンド毎に calibration してから大気補正を行った。なお、本研究に使用した全ての衛星データには全てこれらの補正をした。

#### 2.2.3.3 NDVI (正規化植生指数) 値の計算と衛星データ解析

衛星データを用いて、Klanaieb 地域の正規化植生指数 (Normalized Difference Vegetation Index, 以下 NDVI と略) を算出した。衛星画像は LANDSAT 7-ETM+ (2005 年 2 月 23 日、解像度 30m、Path/Row=171/46) の可視域の赤の反射率と近赤外の反射率を用いて、ENVI v4.7 (©ITT 社) を使用して計算した。NDVI の計算式は以下に示す：

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

NIR は近赤外の反射率、RED は可視域の赤光域の反射率を示す。

また、NDVI 値の範囲は-1 から+1 であり、マイナスの値は水域、0~0.1 の間は岩や砂地などの裸、0.11~間は灌木や草本とした。これに GeoEye-1 (撮影日：2011 年 11 月 14 日、解像度：165cm) の衛星画像からマングローブ林の周囲に作成したポリゴンを重ね、マップを作成した(図.4)。

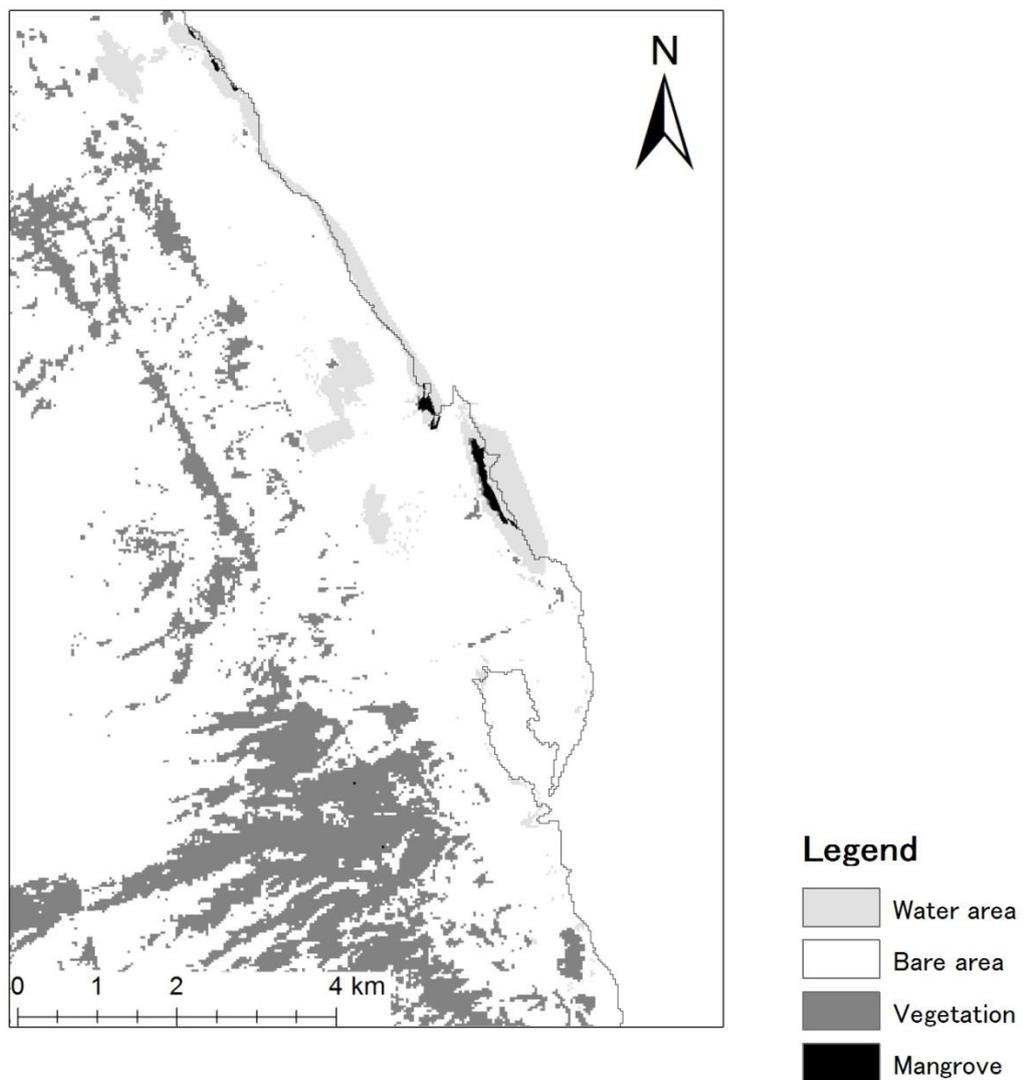


図 4. NDVI map of study area

## 2.3 ヒトコブラクダのトラッキングと採食

### 2.3.1 現地調査

2011年12月23-27日の5日間で Site 1、2012年8月3-13日の11日間で Site1、Site2 で家畜ヒトコブラクダのトラッキング調査を行った。ヒトコブラクダが毎日17-18時頃牧畜民の家に戻った後に充電済みのGPSロガーと交換して使用した。GPSロガーはGT-31(LOCOSYS社)と747pro(Transystem社)で、10秒間隔で距離・速度・高度・時間を記録した。

### 2.3.2 滞在時間の表示

取得したヒトコブラクダのトラッキングデータのうち、およその放牧時間の6時-18時を抜き出し、作成したNDVIマップと重ねた。トラッキングと重なっているマップのピクセルを抽出し、円で表した。1ピクセル内で滞在時間の長いものほど大きくなっている。

### 2.3.3 行動圏の推定

LoCoH法(Getz and Wilmers local convex hull)を用いてトラッキングのポイントデータから家畜ヒトコブラクダの圏の解析を行った。

解析方法として、固定 $k=100$ とし、行動圏は10段階に分類した。

#### 2.3.4 ヒトコブラクダのヒルギダマシ採食量

現地ではヒトコブラクダがヒルギダマシを採食する様子を 10 分間ビデオ撮影し、採食している葉の枚数と呼吸根の本数をカウントした。

### 2.4 マングローブ林分布動態

#### 2.4.1 マングローブ林の面積変動

使用した衛星データは、LANDSAT 5-TM (撮影日：1984年6月13日、1987年3月18日、1990年5月21日、1999年4月20日、解像度：30m、Path/Row：171/46)と LANDSAT 7-ETM+ (撮影日：2001年5月3日、2002年3月3日、2005年2月23日、解像度：30m、Path/Row：171/46)を使用し、RGBにはそれぞれ Band4(近赤外)、Band3(赤)、Band2(緑)を入れて表示した。マングローブ林判定の基準を Band2のDN値が0.100から0.130、Band3のDN値が0.080から1.00、Band4のDN値が0.140以上とした。面積計算には各年代の画像から表示画像から目視でマングローブ林周囲に沿ってポリゴンを作成し、その面積を計算した。

#### 2.4.2 変化抽出(Change detection)

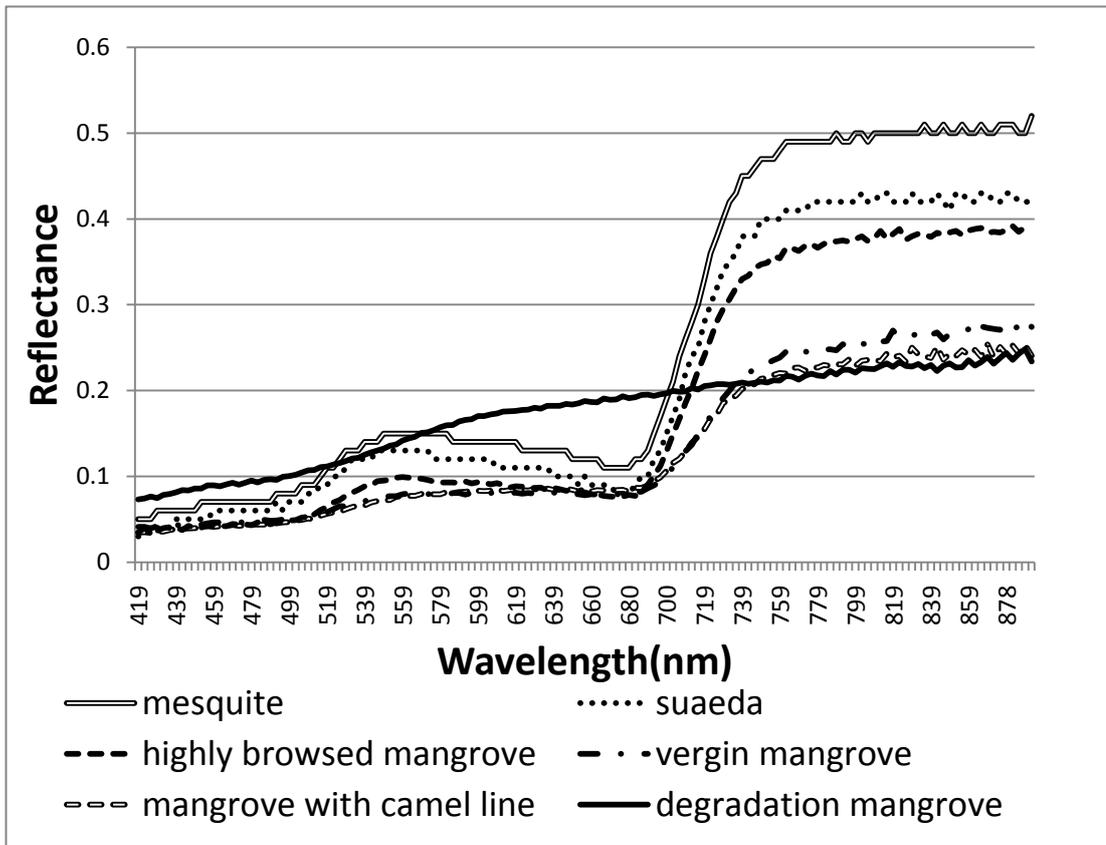
時系列の NDVI の変化の抽出をした。使用した衛星データは、LANDSAT 5-TM (撮影日：1984 年 6 月 13 日，解像度：30m，Path/Row：171/46)と LANDSAT 7-ETM+ (撮影日：2005 年 2 月 23 日，解像度：30m，Path/Row：171/46)を使用し、式(1)を用いた。NDVI を計算した画像を、MultiSpec(米国 Purdue 大学)を使用し、RGB にそれぞれ R:1984，G:2005，B:1984 を入れ，NDVI の教師なし分類を行い、1984 年から 2005 年にかけての NDVI の変化量を抽出した。変化量の算出は、Excel (Microsoft) を使用して二時期における NDVI の変化を計算した。算出結果を基に，マップを作製した。1984 年から 2005 年の 22 年間で NDVI 値が減少しているほど紫色を濃くし、NDVI 値が増加しているほど緑色を濃く表示した。

## 第 3 章 結果

### 3.1 採食圧の違いによるヒルギダマシの分光特性の違い

#### 3.1.1 調査地植物の分光特性－メスキートとの比較

牧畜民への聞き取り調査から研究対象地域のヒトコブラクダが主に採食する植物をフィールドで分光特性から分光放射の値を計測し、反射率のグラフを作成した。計測した対象は 1)陸域の外来植物メスキート、2)陸域の塩生植物スアエダ、3)マングローブ林沖側の採食圧の高いと思われるヒルギダマシ 4)採食跡のないヒルギダマシ、5)キャメルラインが形成されて新しい採食跡のないヒルギダマシ、6)葉のないヒルギダマシである(図.5)。



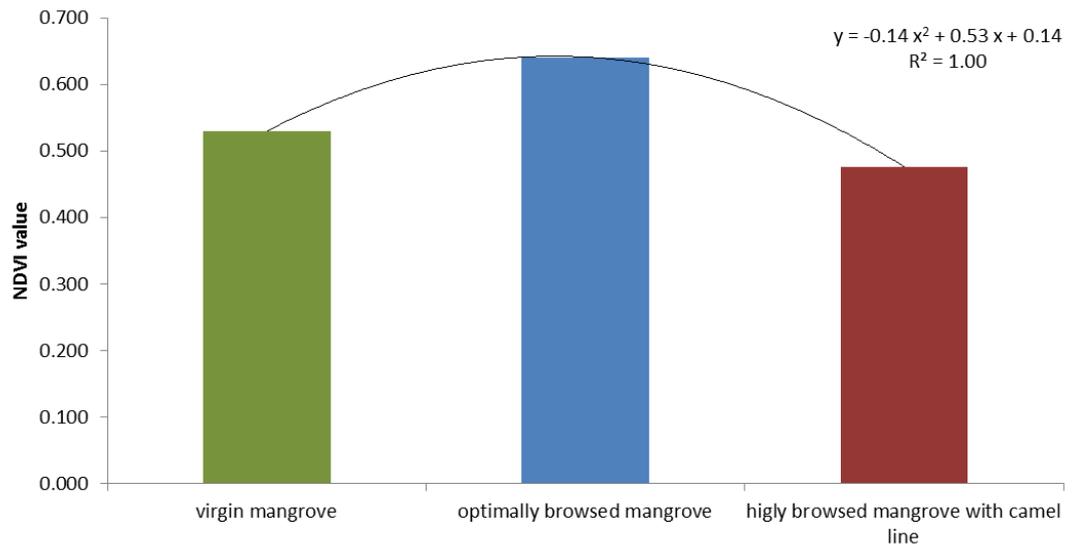
☒ 5. Spectral characteristics of the vegetation in research area

### 3.1.2 調査地植物の NDVI 値の比較

ヒトコブラクダによって採食されたヒルギダマシの NDVI 値を比較するとヒトコブラクダが頻繁にアクセスし、採食を受けているヒルギダマシ個体の NDVI 値が最も高かった(表.2)。これは、陸域に分布する外来種のメスキートや在来の塩生植物であるスアエダよりも高い値となっている。続いて採食のない個体が続き、最後に過去に過度の採食圧がかかりキャメルラインができたと考えられるヒルギダマシが最も低い結果となった。これは採食を受けている個体のほうがより植物の生産量を増す *grazing optimization* が起こっていると考えられる。

表 2. The NDVI value of the vegetation in study area

	virgin mangrove	optimally browsed mangrove	highly browsed mangrove with camel line	mesquite	suaeda	degradation mangrove
Red	0.080	0.083	0.084	0.124	0.098	0.185
NIR	0.261	0.379	0.238	0.499	0.422	0.228
NDVI	0.530	<b>0.641</b>	0.476	0.601	0.622	0.104



☒ 6. Relationships between grazing pressure and NDVI

## 3.2 ヒトコブラクダのトラッキングと採食

### 3.2.1 Site1 冬季トラッキング

トラッキング調査をした5日間でマングローブにアクセスしていたのは3日間で、アクセスしていたマングローブ林はAmanaのみであった。放牧が始まるのは7時頃で、17時頃に牧畜民の家へ戻ってきた。マングローブ林へアクセスする際には海中地面の硬くなっている砂州を渡り沖側のヒルギダマシを採食していた。砂州を通過して海中を歩く場合に通るルートは一つのみで、聞き取り調査から足場の悪い海中や通り慣れていない道は利用しないということがわかった。また、朝に放牧を始めた時点で波が強い場合は海には入らず、沿岸部の塩性湿地帯に分布する塩生植物へアクセスし、その後マングローブ林へアクセスしていた(図 7-11.)。

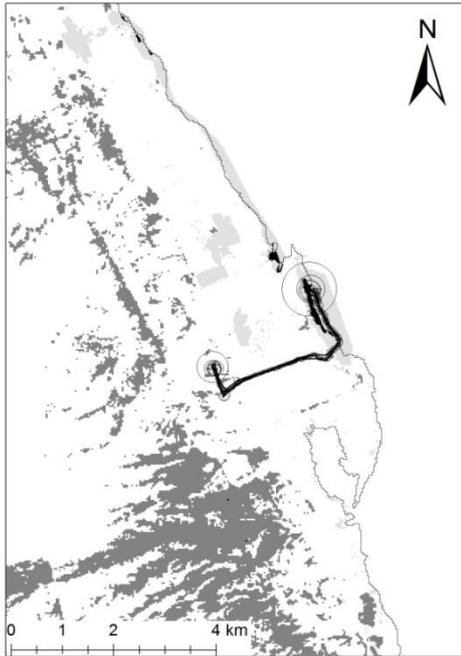


图 7. GPS tracking of camel  
in site1 in Dec.23, 2011

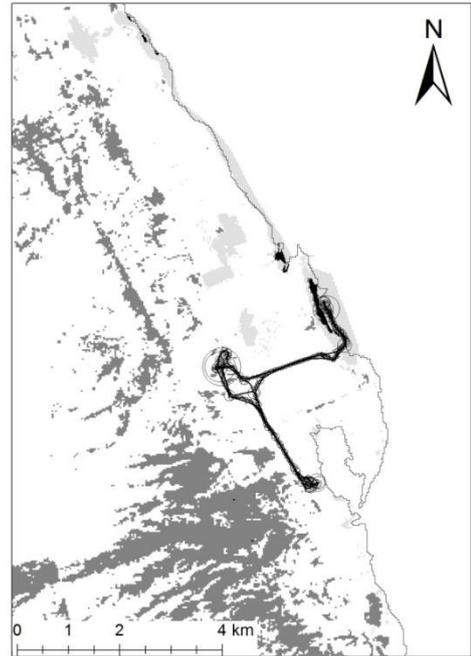


图 8. GPS tracking of camel  
in site1 Dec.24, 2011



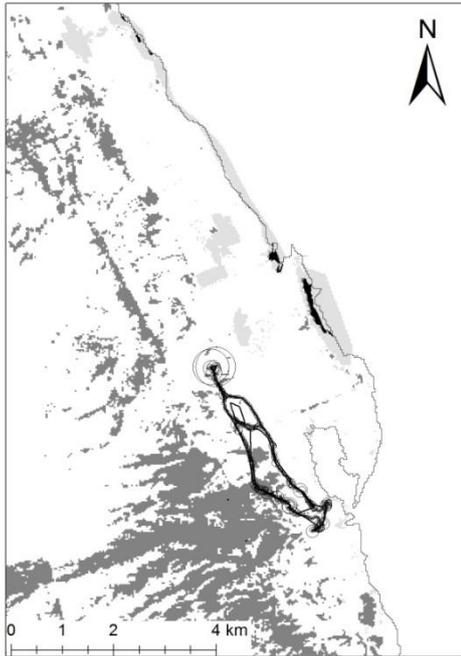
图 9. GPS tracking of camel  
in site1 Dec.25, 2011

### Legend

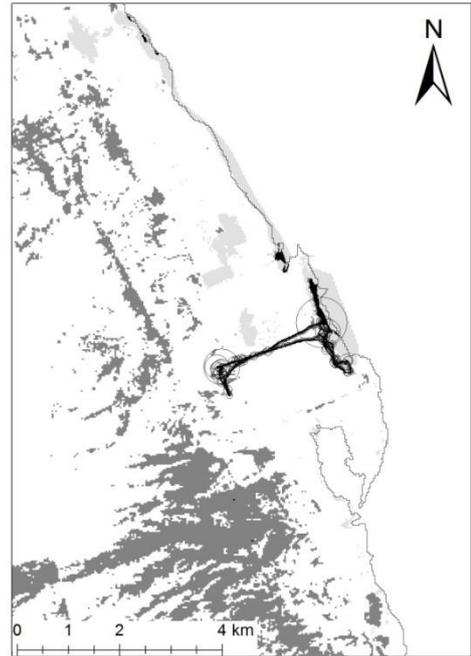
- Water area
- Bare area
- Vegetation
- Mangrove

### Tracking count

- 1
- 10
- 1,000



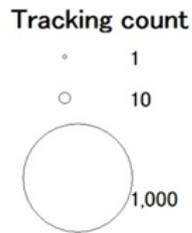
☒ 10. GPS tracking of camel  
in site1 Dec.26. 2011



☒ 11. GPS tracking of camel  
in site1 in Dec.27, 2011

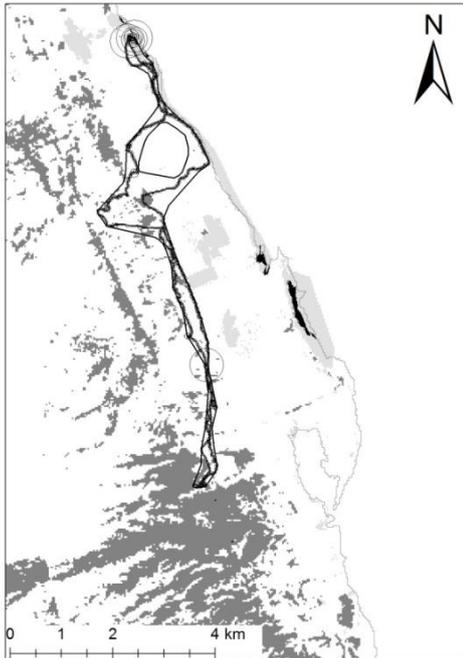
### Legend

-  Water area
-  Bare area
-  Vegetation
-  Mangrove

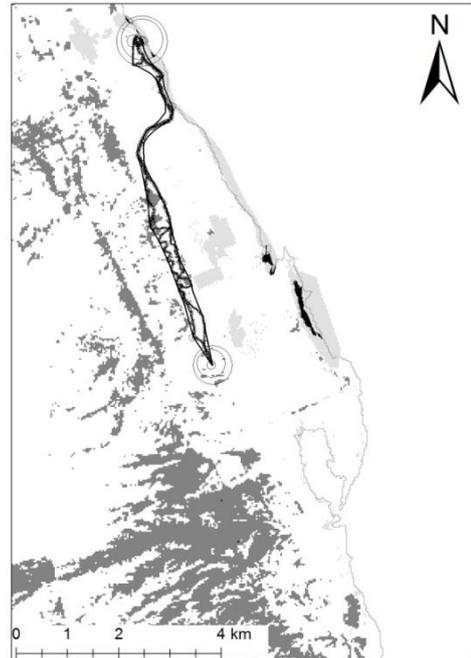


### 3.2.2 Site1 夏季トラッキング

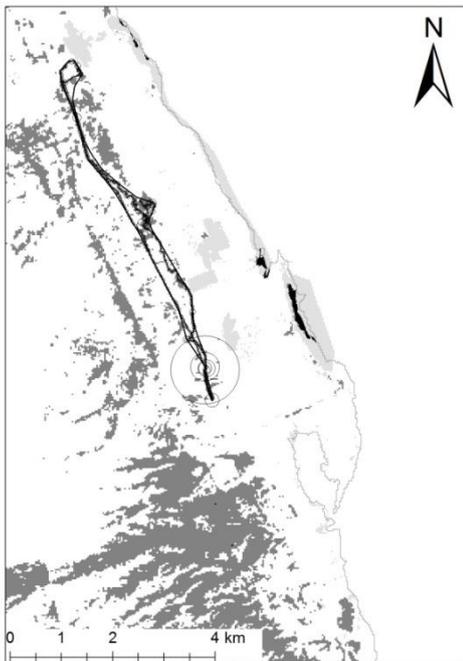
トラッキング調査をした 11 日間でマングローブ林へアクセスしていたのは 7 日間だった。冬季と比べ、海を渡らず陸地を移動し水位の下がった塩田用の水路を渡り、北に位置する Kelo Tamania と Himole のごく一部にアクセスしていた(図.12-22)。冬季に比べると移動距離が長いため、マングローブ林での滞在時間は比較的にな短くなっていた(表.3)。聞き取り調査から、夏季は一日の間での移動時間が長いため牧夫が群れのリーダーに乗り採食地点まで群れを先導していることが分かった。



☒ 12. GPS tracking of camel  
in site1 in Aug.3, 2012



☒ 13. GPS tracking of camel  
in site1 in Aug.4, 2012



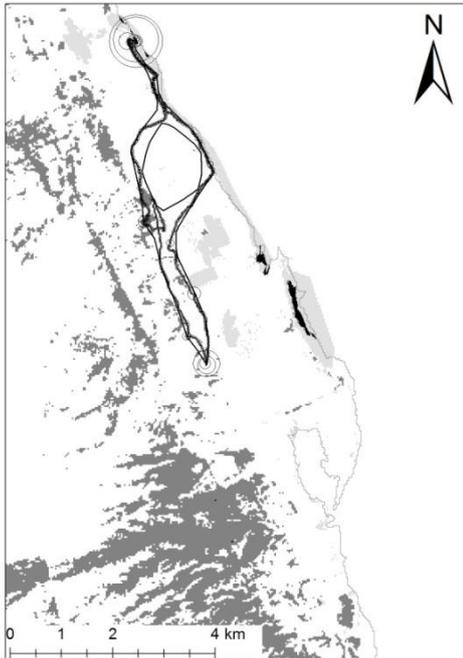
☒ 14. GPS tracking of camel  
in site1 in Aug.5, 2012

### Legend

- Water area
- Bare area
- Vegetation
- Mangrove

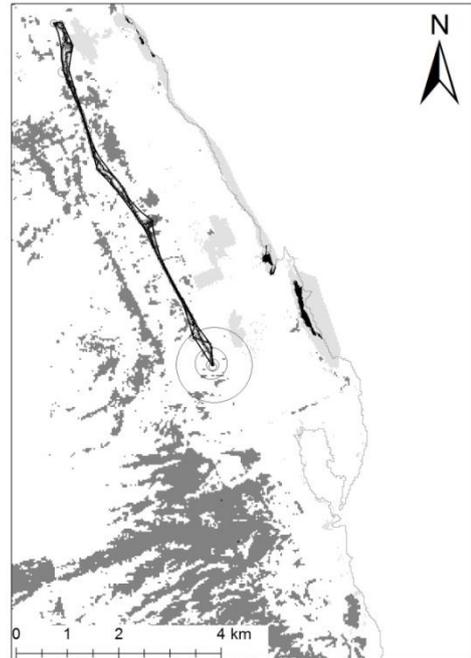
### Tracking count

- 1
- 10
- 1,000



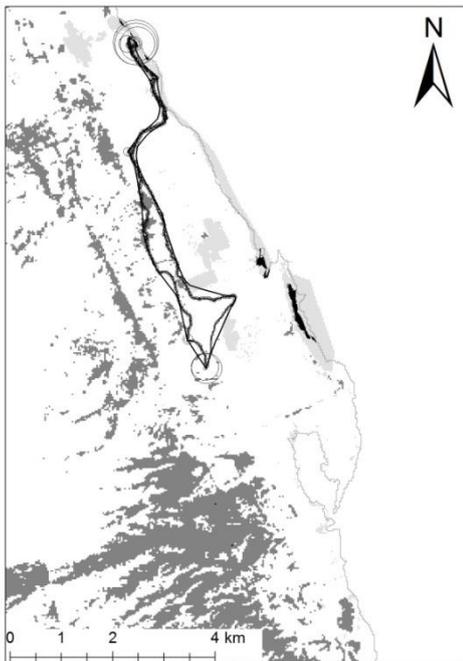
☒ 15. GPS tracking of camel

in site1 in Aug.6, 2012



☒ 16. GPS tracking of camel

in site1 in Aug.7, 2012



☒ 17. GPS tracking of camel

in site1 in Aug.8, 2012

### Legend

-  Water area
-  Bare area
-  Vegetation
-  Mangrove

### Tracking count

-  1
-  10
-  1,000

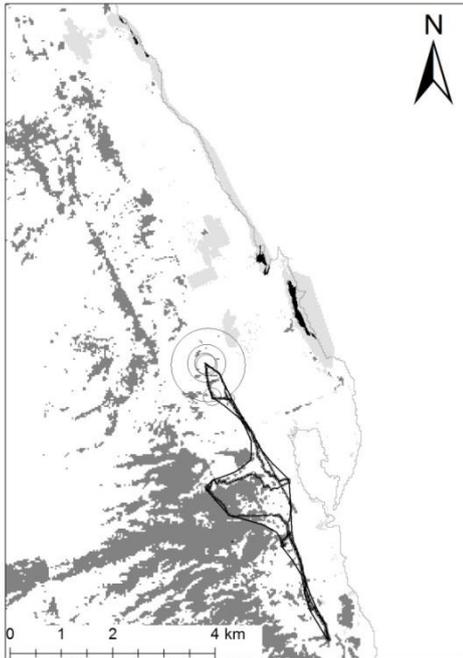


图 18. Site 1 GPS tracking of camel in Aug. 9, 2012

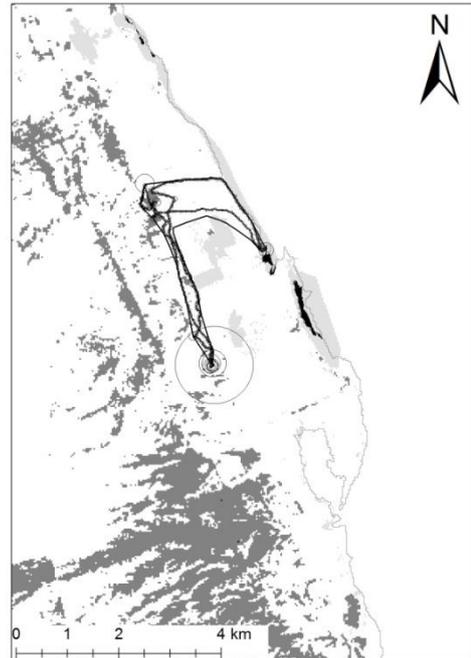


图 19. Site 1 GPS tracking of camel in Aug. 10, 2012

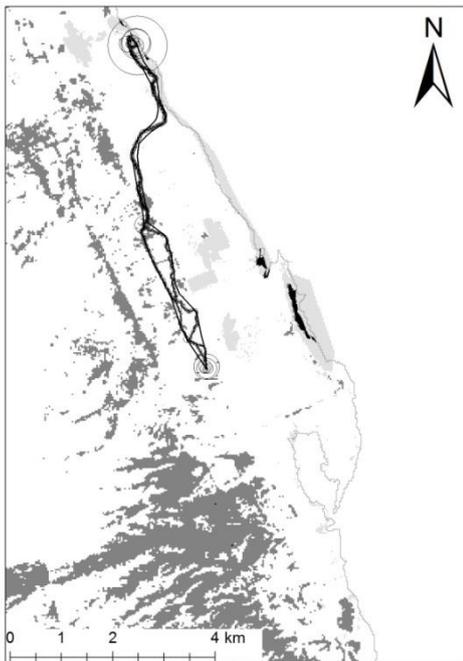


图 20. GPS tracking of camel in site 1 in Aug. 11, 2012

### Legend

- Water area
- Bare area
- Vegetation
- Mangrove

### Tracking count

- 1
- 10
- 1,000

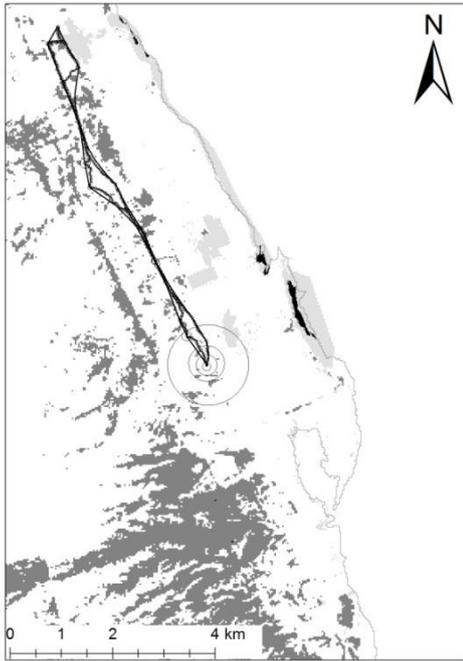


图 21. GPS tracking of camel  
in site1 in Aug.12, 2012

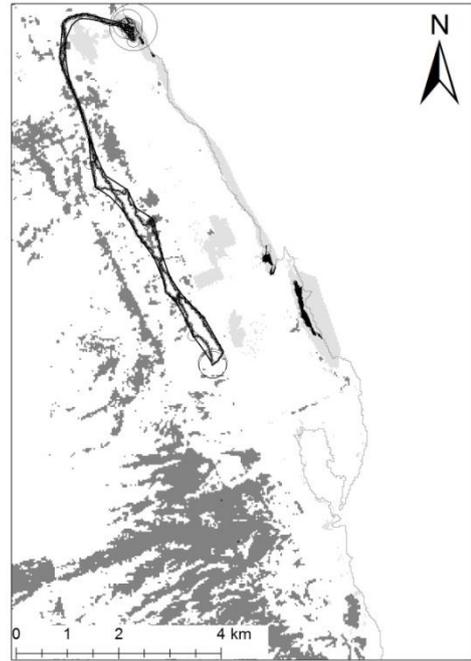


图 22. GPS tracking of camel  
in site1 in Aug.13, 2012

### Legend

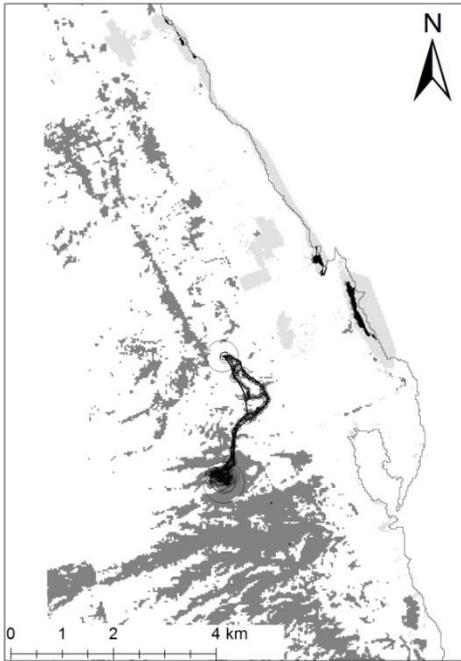
-  Water area
-  Bare area
-  Vegetation
-  Mangrove

### Tracking count

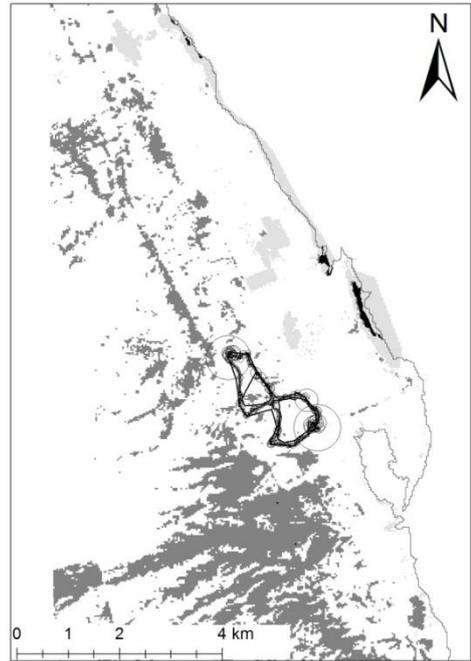
-  1
-  10
-  1,000

### 3.2.3 Site2 夏季トラッキング

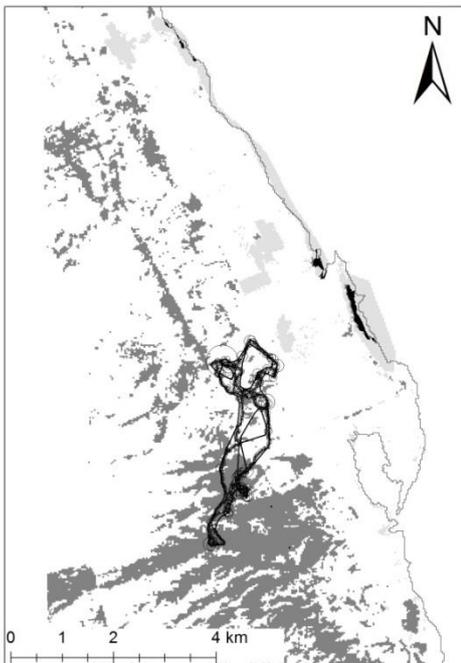
Site2 夏季ではトラッキング調査をした 11 日間でマングローブ林へのアクセスはなく、牧畜民の家周辺の塩生植物や灌木などを採食していた。直線的な動きがほぼ無いのは牧夫の先導がなく、また群れの頭数も 3 頭と少ないため餌を求めて長距離移動する必要がないと推測される(図.23-33)。



☒ 23. GPS tracking of camel  
in site2 in Aug.3, 2012

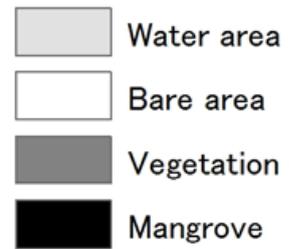


☒ 24. GPS tracking of camel  
in site2 in Aug.4, 2012

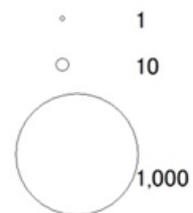


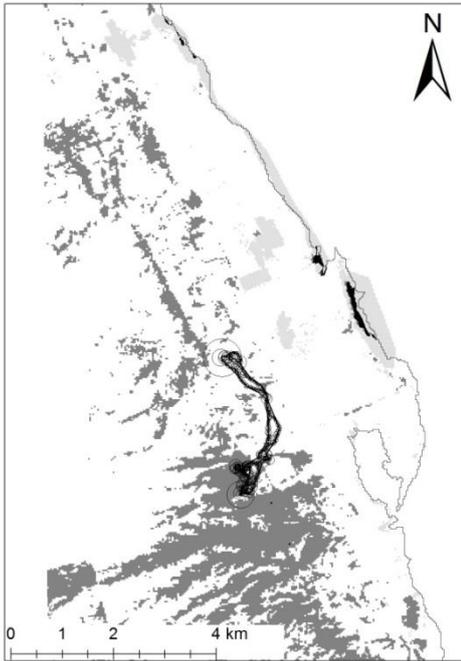
☒ 25. GPS tracking of camel  
in site2 in Aug.5, 2012

### Legend

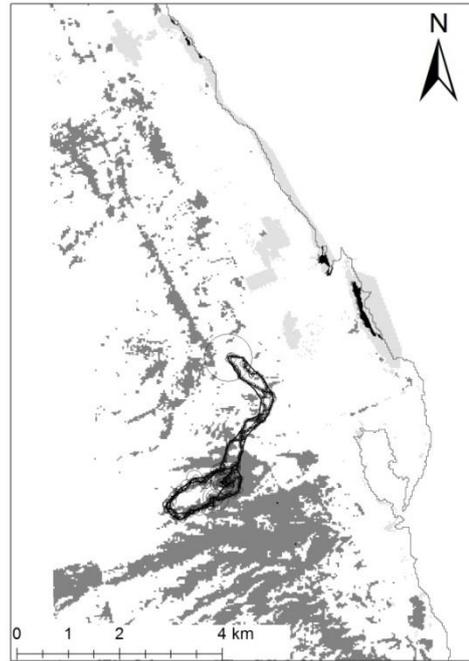


### Tracking count

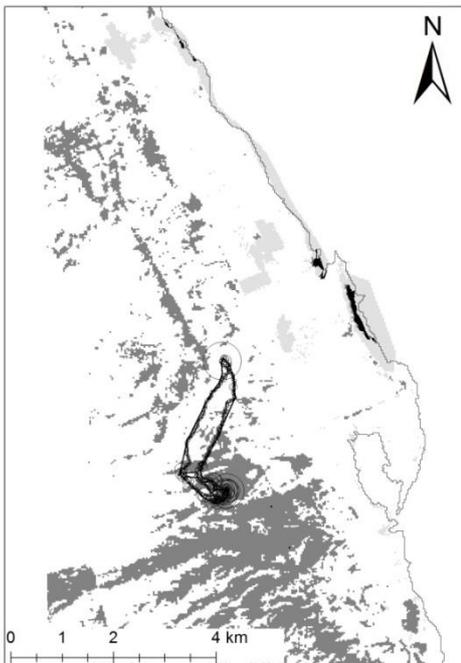




☒ 26. GPS tracking of camel  
in site2 in Aug.6, 2012

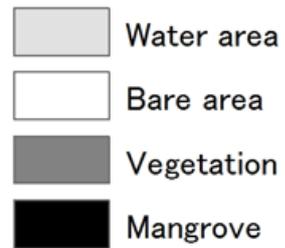


☒ 27. GPS tracking of camel  
in site2 in Aug.7, 2012

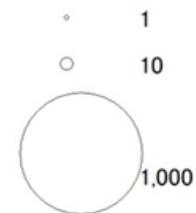


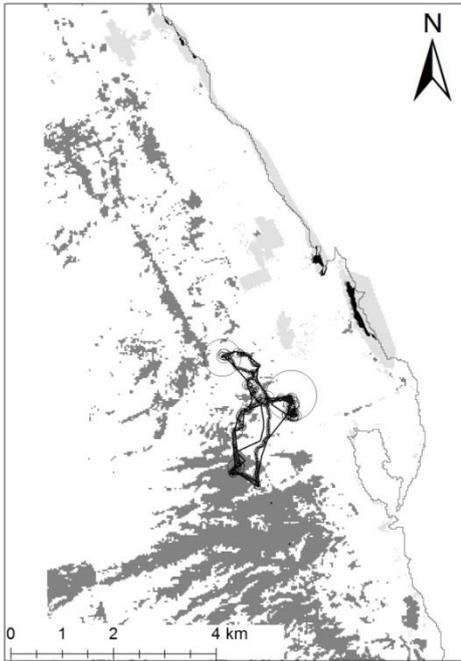
☒ 28. GPS tracking of camel  
in site2 in Aug.8, 2012

### Legend

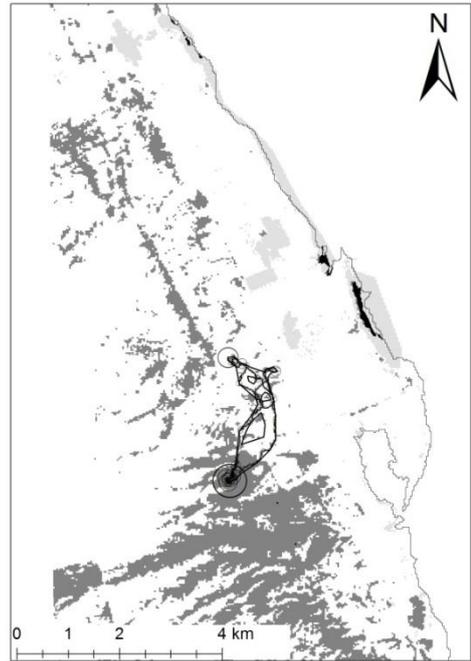


### Tracking count

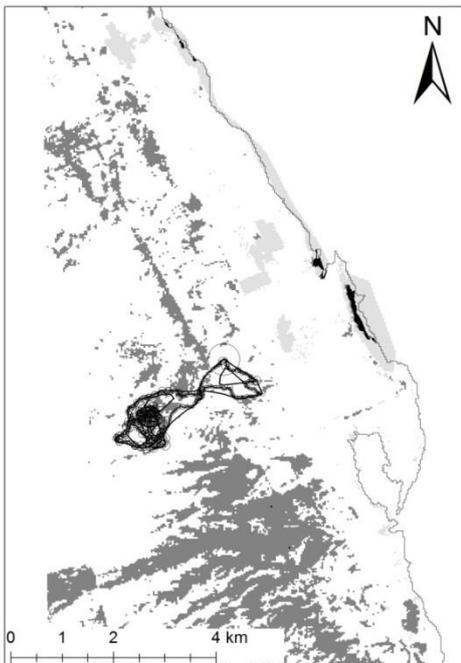




☒ 29. GPS tracking of camel  
in site2 in Aug.9, 2012



☒ 30. GPS tracking of camel  
in site2 in Aug.10, 2012



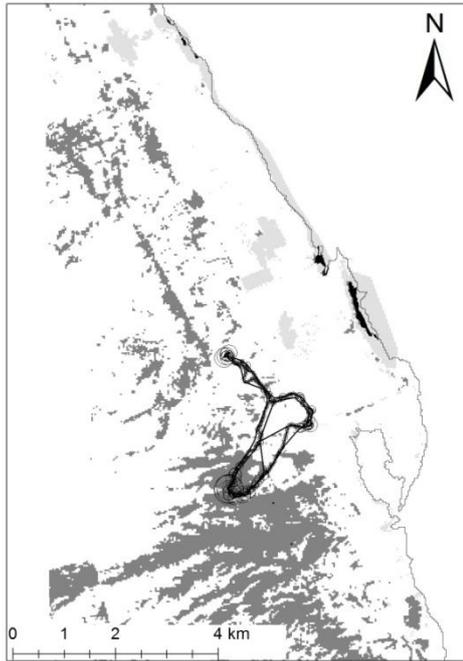
☒ 31. GPS tracking of camel  
in site2 in Aug.11, 2012

### Legend

- Water area
- Bare area
- Vegetation
- Mangrove

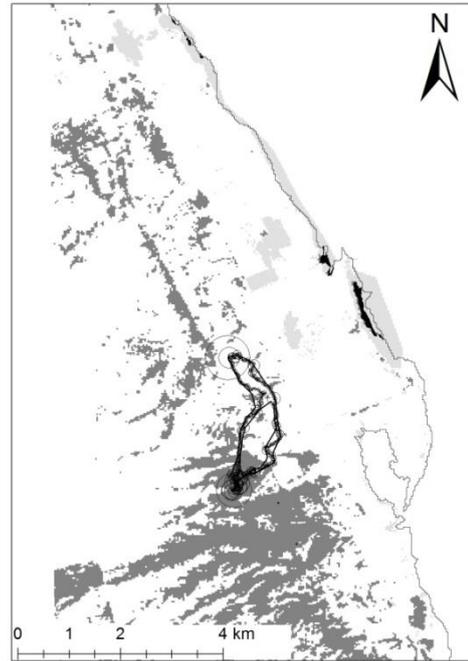
### Tracking count

- 1
- 10
- 1,000



☒ 32. GPS tracking of camel

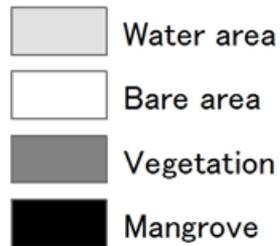
in site2 in Aug.12, 2012



☒ 33. GPS tracking of camel

in site2 in Aug.13, 2012

### Legend



### Tracking count

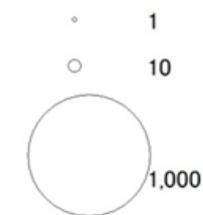


表 3. The movement distance and area of camels based on GPS tracking

		Distance(km)	area(km <sup>2</sup> )	Total time of staying in the mangrove forest	Average time of staying in the mangrove forest
site1	2012Aug.3-13(11days)	19.88±3.44	1.73±0.771	1387	126
	2011Dec.23-27(5days)	15.44±1.87	0.48±0.27	898	180
site2	2012Aug.3-13(11days)	13.19±3.21	0.87±0.29	0	0

### 3.2.4 ヒトコブラクダのヒルギダマシ採食量

夏季と冬季を比べると冬季のほうがマングローブ 10 分間での採食ヒルギダマシの枝葉採食数が多かった(表 .4,5)。

また、子連れでないメスの移動・休憩時間が最も長く、採食しているヒルギダマシ葉数も最多となっていた。子がいるメスと子の採食行動の割合はほぼ同様の結果となっていた(図 35)。

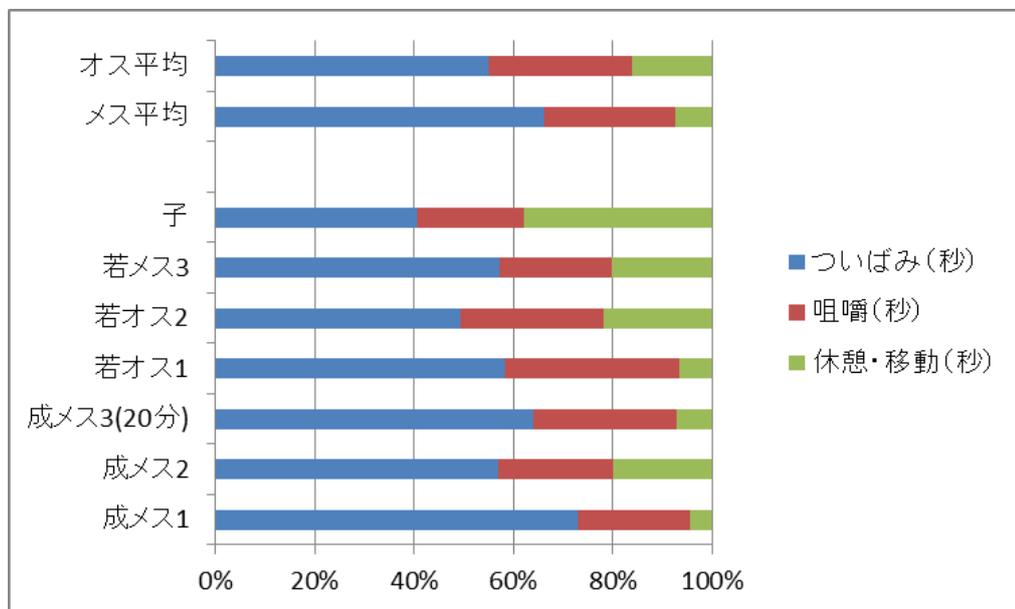


図 34. The proportion of browsing for 10 minutes of camel in Dec. 2011

表 4. The browsing amount for 10 minutes of camel in Dec. 2011

	葉(枚)	呼吸根(本)
若オス 1	572	0
若オス 2	342	34
成メス 1	658	2
成メス 2	366	74
成メス 3	475	33
若メス	219	34
子	62	0
オス平均	457	17
メス平均	429	36
全体平均	385	25

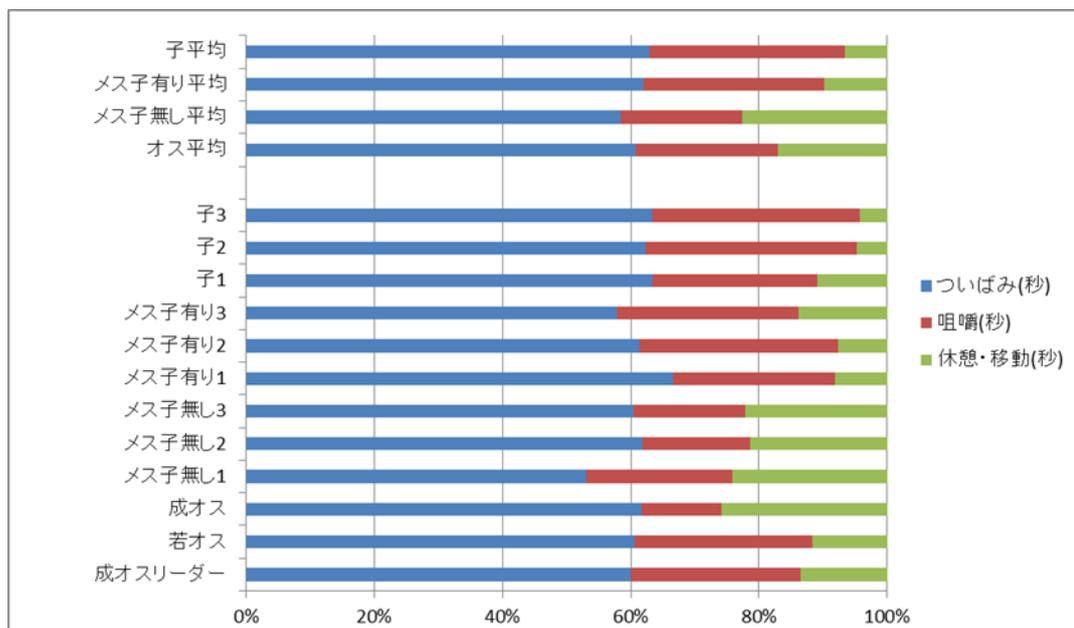


図 35. The proportion of browsing for 10 minutes of camel in Aug. 2012

表 5. The browsing amount for 10 minutes of camel in Aug. 2012

	葉(枚)	呼吸根(本)
成オスリーダー	698	0
若オス	163	0
成オス	96	52
メス子無し1	444	36
メス子無し2		
メス子無し3	650	0
メス子有り1	246	35
メス子有り2	308	114
メス子有り3	454	10
子1	99	0
子2	48	12
子3	122	8
オス平均	319	17
メス子無し平均	547	18
メス子有り平均	336	53
子平均	90	7
全体平均	303	24

### 3.3 マングローブ林分布動態

#### 3.3.1 マングローブ林の面積変動

スーダン共和国紅海沿岸部では1984年から1986年にかけて大規模な干ばつが起こり、干ばつが陸域の植生への被害が大きかった。それに伴いヒトコブラクダの採食はヒルギダマシへの依存が大きくなり、ヒルギダマシは干ばつと被採食と二重のストレスがかかって森林面積が減少したと考えられる。

2000年にHimoleの中心部を挟むように作られた塩田区画用の水路はヒトコブラクダのHimoleへのアクセスを困難にした。水路が作られた2年後の2002年3月からHimoleの森林面積が増え、2005年2月では4.34haとなり、1.81haだった1984年1月と比べ倍以上となった。一方Amanaの面積は1984年6月で12.90haあったが1987年3月には10.42と減少し、その後1999年4月までは増加したが、その後現在まではほぼ横這いとなっている(図.36)。

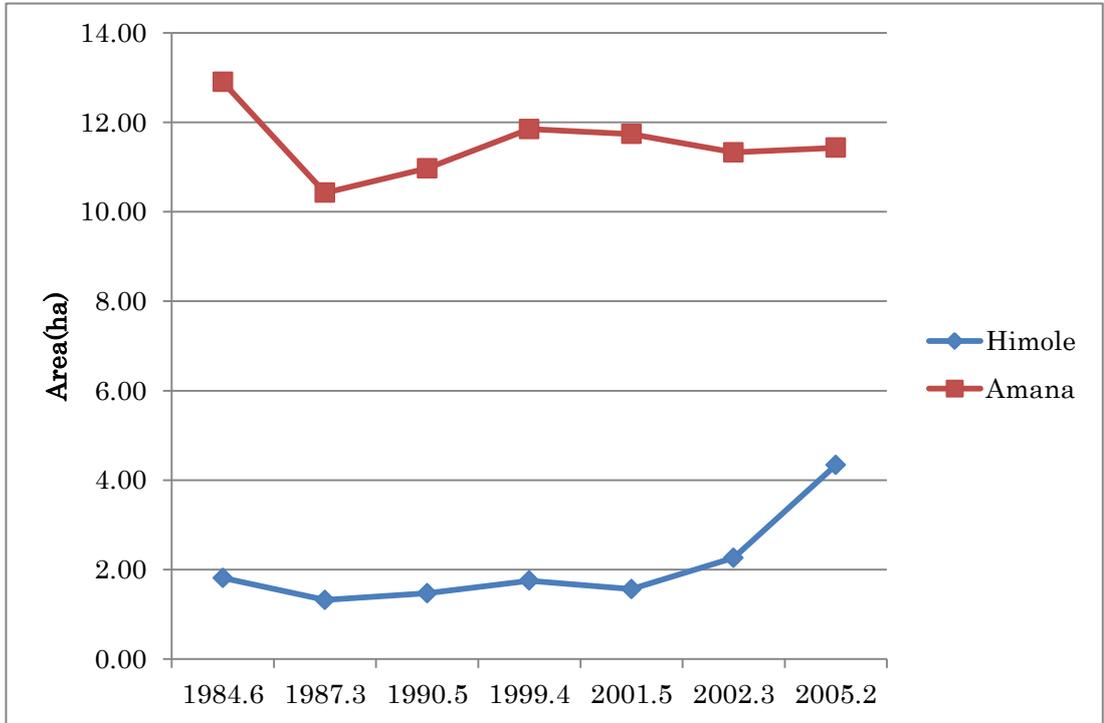


图 36. Dynamics change of mangrove forest area during 1984 to 2005

### 3.3.2 変化抽出(Change detection)

図.37 は 1984 年から 2005 年までの NDVI 値の変化の抽出をした図で紫色が濃いほどほど NDVI 地が減少し、緑色が濃いほど増加、白色は変化がないことを示す。これに 2011 年 11 月のマングローブ林のポリゴンと沿岸のラインを重ねたものである。この図でも Himole の広い範囲で NDVI 値が大きく増加していることがわかる。また Amana では西側(陸側)の NDVI 値が減少し、南端で NDVI 値の増加が見られる。

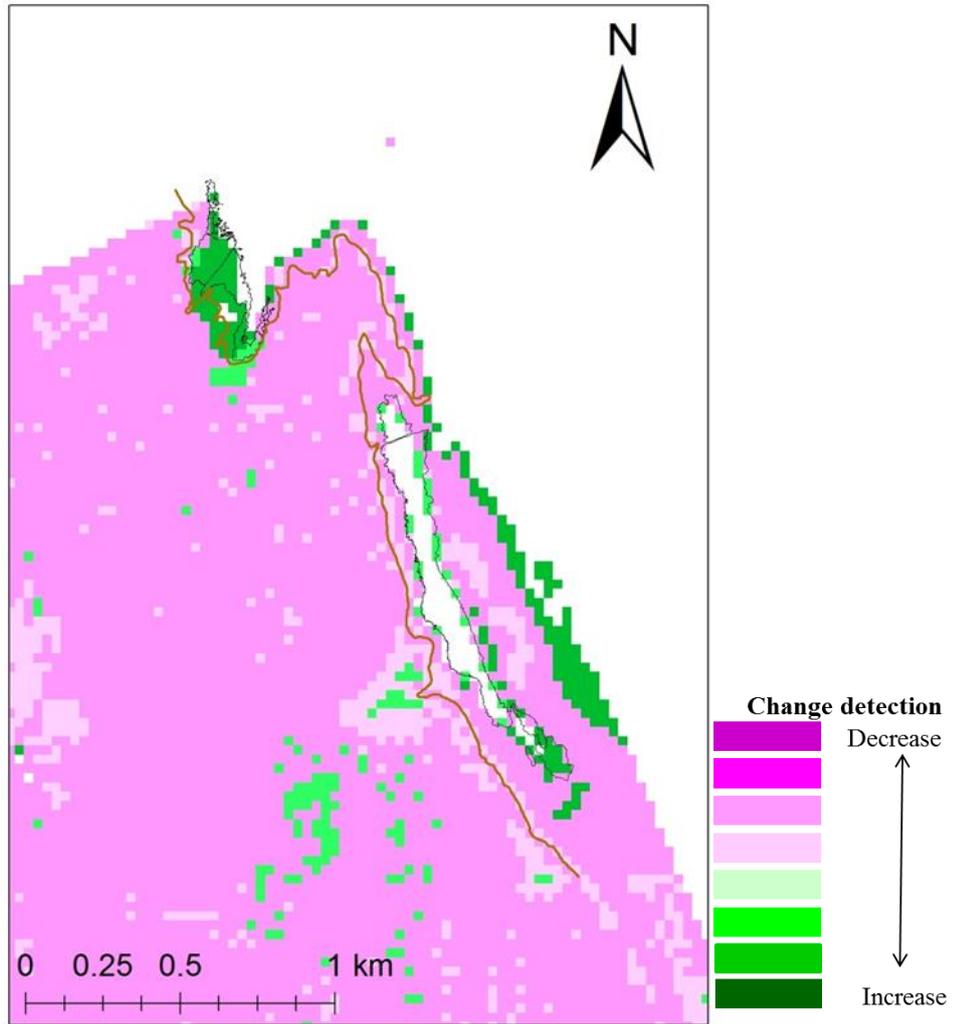


图 37. 研究区红树林变化检测

## 第 4 章 まとめ

### 4.1 異なる採食におけるヒルギダマシの分光特性の違い

適切な採食を受けているマングローブの NDVI 値が最も高く、それに次いで採食のないマングローブ、最も低かったのは過去に過度の採食圧がかかったと思われる、キャメルラインができたマングローブであった

### 4.2 ヒトコブラクダのトラッキングと採食

Site1 の牧畜民が飼養するヒトコブラクダのアクセスしていたマングローブ林は、冬季は牧畜民の家から最も近く面積も大きな Amana へのみアクセスし、夏季は Port Sudan 近くの小さな Kelo Tamania と Himole の一部へアクセスしていた。また、朝の放牧時に牧夫の先導があった Site1 と比べ、先導がなかった Site2 では総移動距離が 65% しかなく、移動面積も 1/2 以下であり、マングローブ林へのアクセスもなかった。この地域の夏季は乾季であり、本来牧夫がヒトコブラクダを引き連れて夏雨気候の内陸部へ移動するが、長距離移動や山越えの難しい子連れのメスなどは沿岸部に残り、夏を過ごす。この際ヒルギダマシへの過度な採食を避けるために牧夫が沿岸部の長い距離を移動させ、冬季に利用しないマングローブ林

へとヒトコブラクダを先導させていた。ヒトコブラクダのヒルギダマシ採食量は冬季のほうが夏季よりも多く、またマングローブ林への滞在時間も同様に冬季のほうが長かった。

#### 4.3 マングローブ林分布動態

1984年6月と2005年2月のマングローブ林の分布を比較してみると、水路が出来た後の2005年の画像ではヒトコブラクダのアクセスが難しくなった Himole 中心部ではマングローブ林の面積が倍以上に増えた。一方1984—1987年の大干ばつによって面積を減らした Amana はヒトコブラクダの採食を受け続けているにもかかわらず森林面積を回復させていた

## 第 5 章 考察

ヒルギダマシの NDVI 値が、採食を受けているものが最も高かったことから、適切な採食を受けている個体のほうがより植物の生産量を増す **grazing optimization** が起こっており、一次生産量が上がっていると考えられる。しかし過度の採食圧(過放牧)は NDVI 値を減少させると考えられる。

ヒトコブラクダの採食するマングローブ林を牧夫が季節的に変更していることから、採食するマングローブ林を牧夫が季節的に変えることによって一つのマングローブ林へ集中的な負担がかかることを回避し、過放牧を避けていると考えられる。

2000 年に作られた水路によって囲まれたマングローブ林 Himole は、ラクダの採食が制限された事により稚樹が守られ、沖方向に分布を広げていった可能性がある。しかし、継続的に採食を受けていたと考えられる採食地点の NDVI 値は増加していることからヒトコブラクダの採食はマングローブ林の分布を減少させることには影響しないと推測される。

よって、牧夫がヒトコブラクダの放牧をコントロールし、適切な放牧を続けている限り、ヒトコブラクダとマングローブのなりわい生態系は持続可能ではないかと考えられる。

本研究ではマングローブ林の分布動態の調査で使用した衛星データは 1984 年から 2005 年までのものであった。2005 年以降は使用した Landsat にノイズが入っており、マングローブ林分布動態の正確な解析ができないため使用を断念した。また、衛星画像から水域とマングローブの混ざっているエリアの正確な NDVI 値の計測が不可能だった。今後の対策・提案として、新たな衛星画像の利用。ミックスピクセルの分類もしくは現地調査でのスペクトル測定が挙げられる。

## Abstract

### Camel' s browsing effect and dynamics change of danger species of *Avicennia marina* in Res Sea coastal area

Kento Tani

In this study, I aimed to clarify the effect of camel' s browsing on dynamic change of the mangrove in Red Sea coastal area, by analyzing the behavior of camel and distribution of mangrove forests (*Avicennia Marina*) by field survey and remote sensing technology.

It is estimated that the mangrove received a medium browsing pressure by camel, I am consider that browsing optimization will increase the plant biomass production.

Saplings were protected from camel browsing by artificial canals made in 2000. This has expanded the distribution of mangrove forest in Klanaieb offshore direction.

However, it is speculate that optimal camel browsing has not reduce the distribution of mangrove forests, and the NDVI values in such places are show high indices.

Therefore, it is considered that camel browsing optimization is needed to protect mangroves and its ecosystem.

## 謝辞

本研究は総合地球環境学研究所・アラブ社会におけるなりわい生態系の研究－ポスト石油時代に向けて(プロジェクトリーダー:縄田浩志)の助成で行われたものである。

論文作成にあたり、始終多大なご指導ならびに適切な助言を頂きました酪農学園大学農食環境学群環境共生学類教授の星野仏方先生、金子正美先生、吉田剛司先生、特任教授の Sumiya Ganzorig 先生、総合地球環境学研究所の縄田浩志先生。

また、現地調査にあたりご指導をいただいたスーダン科学技術大学の Abdelaziz Karamalla Gaiballa 先生、紅海大学の Abdelmoneim Karamalla Gaiballa 先生、Abdelgardel 先生、マングローブ植林行動計画の須田清治様、宮本千春様及び本研究の様々な場面でご協力を賜りました研究室の皆様にご心より感謝を申し上げます。

## 引用文献

- 1) 縄田浩志.2003.乾燥熱帯の沿岸域における資源パッチへのアクセス性と利用可能性-スーダン領紅海沿岸ベジャ族のヒトコブラクダとのかかわりに焦点をあてて.国立民族博物館調査報告
- 2) 縄田浩志.2004.ラクダの水場としての塩分濃度が高い浅井戸の利用—スーダン両公開沿岸における人間と家畜の水利用に関する事例分析から—: 沙漠研究 13-4. 249-264
- 3) 縄田浩志.2004.ヒトコブラクダの多目的な活用と価値の複数性: スーダン領紅海沿岸ベジャ族のラクダ名称群に関する事例分析から.スワヒリ&アフリカ研究.第十四号:113-179  
会.46:371-397
- 4) 縄田浩志.2005.2つのエコトーンの交差地としてのスーダン東部・紅海沿岸部: ベジャ族の適応機構を探る.地球環境 Vol.10  
No.1:17-28
- 5) Al-Maqrizi.1970.Kitab al-Mawa'iz wa'l-l'tibar bi-Dhikr al-Khitat wal-Ather:2vol.Bulaq,repr. Baghdad
- 6) Gofu Oba et al. 2001. Relationships between biomass and plant species richness in arid-zone grazing lands: Journal of Applied Ecology 2001. 38, 836-845

- 7) Holt, P.M. 1960. "Bedja." The Encyclopaedia of Islam, New Edition: Vol. 1, pp. 1157-1158, Leiden, E.J. Brill.
- 8) Meete Loyche Willkie and Serena Fortuna. 2003. "Status and trends in Mangrove area extent Worldwide." Forest resources Development service, FAO
- 9) Mohamed M. Osman 1984. Seasonal and Seclular Variations of Sea Level at Port-Sudan: Oceanography Department, Faculty of Science, Alexandria University, Egypt