

# Morphology and origin of palimpsests on Ganymede based on Galileo observations

Kevin B. Jones, James W. Head III, Robert T. Pappalardo, and Jeffrey M. Moore  
Icarus 164, 197-212, 2003

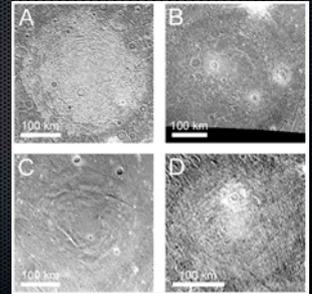
名古屋大学 保井みなみ

2008.10.20 衝突研究会論文紹介セミナー

1

## はじめに

- Palimpsestとは？
- ガニメデやカリストで見られる大きくて、明るくて、丸くて、低い起伏をもった衝突痕。
- Voyagerの時代
- Palimpsestが天体衝突によるものであるということは認識されたが、形成過程や構成物などの詳細なことまでは分らなかった。



→Voyagerによって撮影されたガニメデのPalimpsest

2

①Palimpsestの明るく見えるもの（堆積物）は何なのか？

→形成過程

②Palimpsestになる前の元のクレーターリムはどこなのか？

→地形構造

3

## ①明るい堆積物は何？

1)大規模な衝突により引き起こされた低温火山噴出物

→Thomas and Squyres (1990)

2)流体に富んだドロドロのejecta

→Greeley et al. (1982)、Fink et al. (1984)、Croft (1983)

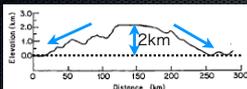
3)ドライな固体ejecta

→Passey and Shoemaker (1982)、Hartmann (1984)、Lucchitta and Ferguson (1988)、Schenk (1996)

4

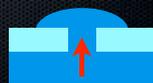
## 1) 低温火山噴出物

- 末端が外向きの傾斜を持っていて、かなり厚みをもった堆積物からなる。



Palimpsestの断面図  
Squyres (1980)

- 初期のガニメデで起こった衝突は、表面の薄くて硬いリソスフェアを貫き、その下の温かいアセノスフェアの物質を押し上げた。→表面に達すると放射状に広がり、円形の噴出堆積物 (Palimpsest) を形成した。

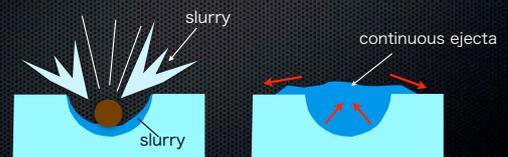


Thomas and Squyres (1990)

5

## 2) 流体richなejecta

- ガリレオの地殻は揮発性物質（氷）に富む。
- 天体衝突（高速）によって、飛び散ったejectaや衝突点近傍は溶けて流体richになる。
- それが衝突によってあいた穴に流れてpalimpsestを形成した。



Greeley et al. (1982)、Fink et al. (1984)、Croft (1983)

6

## ②Palimpsestの末端は何？

### 1) outer continuous ejecta facies

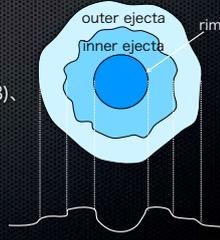
→Passey and Shoemaker (1982)

### 2) inner ejecta又はpedestal facies

→Schenk (1996)

### 3) 元のクレーターリム

→Lucchitta and Ferguson (1988),  
Hartmann (1984)



7

## 1) outer continuous ejecta

Passey and Shoemaker (1982)

- Palimpsest末端より外側から二次クレーターが見られる。
- オリジナルのクレーターも二次クレーターが見られるのは、continuous ejecta末端より外側 (laquinta-Ridolfi and Schenk, 1995)

**Palimpsest末端=outer continuous ejecta末端**

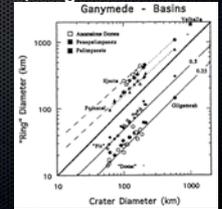
## 2) inner (pedestal) ejecta

- ガニメテクレーターの各ユニットの直径とクレーターリムの直径の関係を明らかにした。
- PenepalimpsestのNidabaの末端直径とクレーターリムの直径の関係から、

**Palimpsest末端=inner (pedestal) ejecta末端**

と判断した。

Schenk (1996)



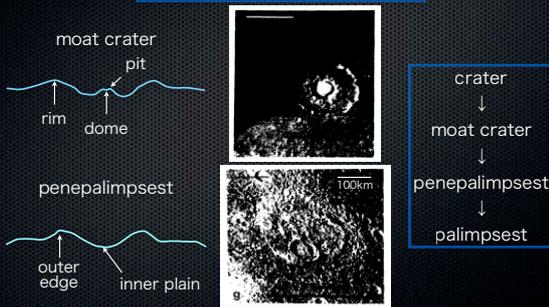
8

## 3) クレーターリム

Lucchitta and Ferguson (1988), Hartmann (1984)

- moat craterとpenepalimpsest、palimpsestの形態（見た目）比較

**Palimpsest末端=クレーターリム**



9

## 目的

- Palimpsestの構造と形成過程を明らかにする。

→過去の仮説のどれが正しいのか、それとも全て間違っているのか、判断する。

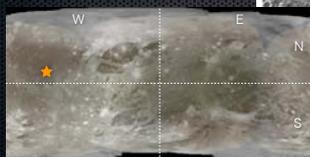
1. 高解像度のGalileo画像を用いて、palimpsestの地形構造を詳細に調べた。
  2. ガニメテの巨大クレーターとの比較。
  3. 衝突クレーターのmorphometryとの比較。
- 元のクレーターリムの位置を推測する（問題2）。
4. 議論：明らかになった地形構造（特に地形の起伏）から palimpsest堆積物の正体を推測する（問題1）。

10

## 今回のターゲット

### 1) Memphis Facula

- 16°N、133°W
- Galileo Regioのdark terrainに位置する。
- 直径355km

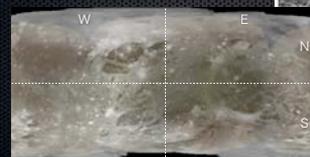
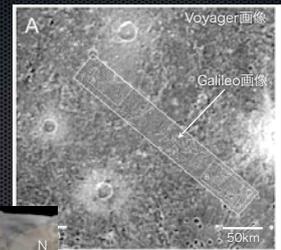


11

## 今回のターゲット

### 2) Epigeus

- 23°N、181°W
- Uruk地域、Nipper地域、Sulci地域の集合地域に位置する。
- 直径370km

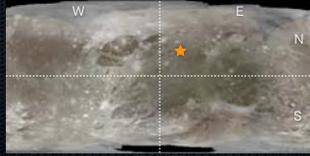
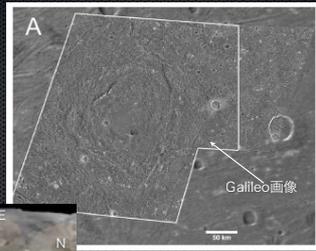


12

## 今回のターゲット

### 3) Zakar

- 30°N、335°W
- grooved terrainの complex regionに位置する。
- 直径280km

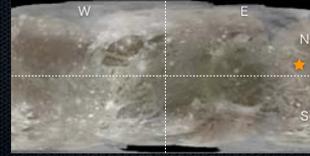
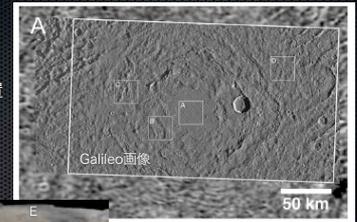


13

## 今回のターゲット

### 4) Buto Facula

- 12°N、203°W
- Marius Regioに位置する。
- 直径245km



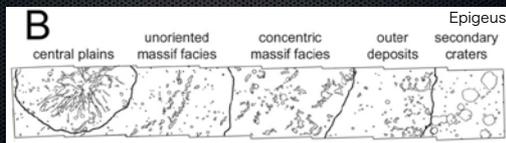
14

## Palimpsestの表面ユニット

- Palimpsestの4つの画像から、表面を4つのユニットに分けることができる。

- 1) central plains
- 2) unoriented massif facies
- 3) concentric massif facies
- 4) outer deposits

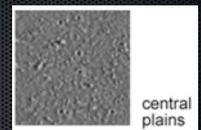
二次クレーターはouter depositsの外側に存在する。



15

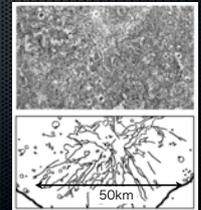
## Central plains

- 最も内側のユニット
- 明るくて、相対的にsmoothで、palimpsest中心に向かって直径500m~3kmのknobが集まっている。
- palimpsest半径の約15%まで広がる。
- unoriented massif faciesとの境界は急斜面となり、central plainは低地となっている。



### Epigeus

- 準放射状にfractureが存在する (半径約25km)
- 幅約150~250m、樹木状に広がる。
- 中心15~20kmは明るい凸凹したlobate depositがある。
- 200~300m程の大きさのmassifが200~300m程の間隔で集合している。



16

### ・ Central plainの構成物

→ 固化したインパクトメルトや固体状のejectaの大きな塊から形成

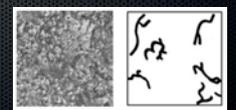
### ・ Epigeusの放射状fracture

→ 衝突後の粘性緩和によって、palimpsest中心で圧縮変形又は脆性破壊が起こることによって形成

17

## Unoriented massif facies

- Central plainsの周囲に存在する。
- アルベドの高い曲線状のmassifやhummock (長さ3~10km、幅1~5km)が均一に分布する。
  - 向きはバラバラ。
    - concentric massif faciesとの境界はmassifの向きがバラバラから同心状になるところ。
  - massifはcentral plainsに近づくにつれ、低くなっていく。
- palimpsest半径の約15~45%部分を占める。
- 所々に、狭く暗い底のtrough (幅100~200m)が存在する。
  - trough形成メカニズムについては議論で行う。

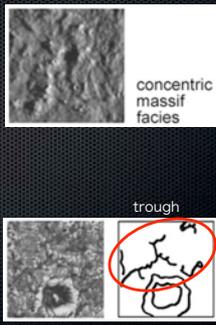


18

- Unoriented massif faciesの構成物
  - transient crater内の ejectaの多くが何らかのメカニズムでごちゃごちゃにかき混ぜられたもの。

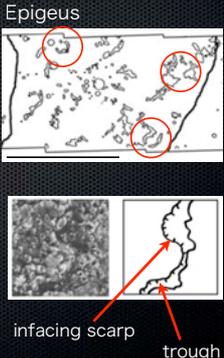
### Concentric massif facies

- Palimpsest中心に向かって明るいmassifが同心状の弧を描く領域
- massifの幅は1-5km、長さが10-30km以上、massifのない領域で4-6km隔てられている。
- 所々にtrough (unoriented massif faciesと同じ) が存在する。
- palimpsest半径の約40-70%部分を占める。



### Concentric massif facies

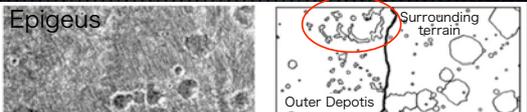
- 同心状ではない弓形のmassifが直径3-7kmの円形のmassifなし領域を囲んでいるところがある。
  - 二次クレーターが埋まっている。outer depositより数が少ないことから、より厚い堆積物で覆われていることが分かる。
- Memphis Faculaには、このユニットの外側境界付近に、幅1.2-1.8kmのtroughに隣接してin-facing scarpが存在する。Zakarにも似たような急斜面が存在する。



- Concentric massif faciesの構成物
  - Palimpsestを作ったimpactによって破壊された ejectaが地殻表面を覆った領域
- In-facing scarpの形成メカニズム
  - 粘性緩和によってクレーターリム外側に引張の力が生じ、それによって外側のユニットでslumpingが起ることで形成

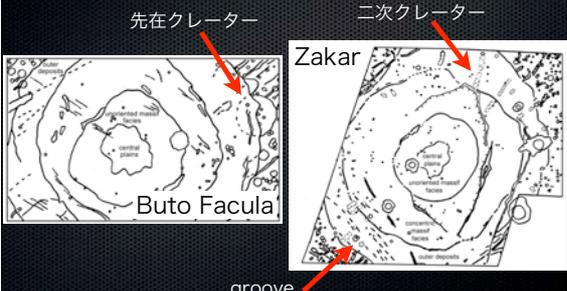
### Outer deposits

- 相対的に緩やかに起伏した地形
- 100-500m程の明るくて緩やかで低い hummock や約5kmスケールの斑点が見られる。
- massifはconcentric massif faciesより少ない。
  - 直径3-7kmほどの三日月状または円形のmassifがチェーン状になっている。
  - Concentric massif facies同様に、troughやまれにそれに隣接してin-facing scarpが見られる。
  - 二次クレーターが埋まっている。



### Outer deposits

- 二次クレーターやpalimpsest形成以前に存在したクレーター、grooveが埋もれてきた地形が多く存在する。



Outer depositsの構成物  
→先在した地形や二次クレーターを覆ったcontinuous ejecta deposit

## 二次クレーター

- 直径約2-7km
- 1つで存在したり、複数がつながってチェーン状になっていたりする。
- 緩和・変形を受けていなくて、新鮮である。
- Palimpsest末端より外側でのみ現れている。
- Palimpsestからの距離が大きいほど、数は減少していく。
- Palimpsest中心から等方的に分布する。
- outer depositやconcentric massif faciesにも存在するが、ejectaによって埋もれておりはっきりとは確認できない。

## ガニメデクレーターとの比較

- ガニメデの大きなクレーターは2つのcontinuous ejecta faciesからなる。
- 1. リムの周りを囲んだ標高が高い台地状のejecta。外側とは急斜面が境界となっている。  
→Inner pedestal facies
- 2. 外側にある、放射状に広がった薄いejecta blanket  
→Outer continuous ejecta

Schenk and Ridolfi (2002)

## ガニメデクレーターとの比較

- Pedestal facies
- grooveの痕がこのejectaユニット内に数多く見られる。  
→覆っているejectaはouter ejectaよりも厚い。

pedestal facies = concentric massif facies

- Outer ejecta
- 相対的にsmooth
- 末端が放射状になっている。
- 二次クレーターチェーンが埋もれている。
- 埋もれたgrooveがpedestal faciesよりはっきり見られる。

outer ejecta = outer deposits

## ガニメデクレーターとの比較

- Outer ejectaの外側
- 二次クレーターや二次クレーターチェーンが現れている。
- ほとんどが直径1-2km。

ガニメデクレーターのcontinuous ejecta末端が、Palimpsestの末端に一致する。  
元のクレーターリムは、unoriented massif faciesとconcentric massif faciesとの境界にほぼ一致する。

問題② Palimpsestの末端は何？  
答え 仮説① outer continuous ejecta

## Morphometry

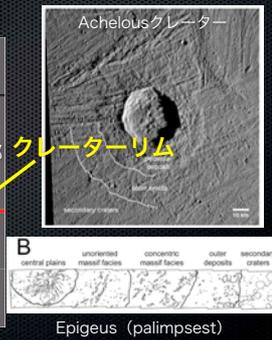
- Schenk (1991, 1993)
- Voyagerの画像を基に、palimpsest、ガニメデクレーター、リングクレーターの各ユニットの半径とクレーターの半径との関係を調べた。

ガニメデクレーターのリムは、palimpsestやリングクレーターのconcentric massif facies内側境界に一致する

## Palimpsestの地形構造に関するまとめ

- 表面が4つのユニットに分かれ、ガニメデクレーターの表面ユニットと対応する。

palimpsest	crater
central plains	クレーター内部
unoriented massif facies	
concentric massif facies	pedestal facies
outer deposits	outer ejecta



Epigeus (palimpsest)

31

## 議論：Palimpsest堆積物は何？

- 1) 大規模な衝突により引き起こされた低温火山噴出物
- 2) 流体に富んだドロドロのejecta
- 3) ドライな固体ejecta (月クレーター)

### 矛盾点

- ①の説：大規模な放射状のflow structureが見られない。
- ③の説：リムが月クレーターのようにV-shaped patternになっていない (Oberbeck and Morrison, 1973) のと、outer depositが相対的にsmoothであること。

32

## 問題① Palimpsest堆積物は何？

答え 仮説② 流体richなドロドロのejecta

### 根拠と予測

1. palimpsestのmassifのあるユニットでは局所的にmassifがあり、その周りはmassifのない領域で覆われている。
2. central plainにknobがある。  
→ 流体ejectaが凍結する際に、固まった氷の塊がまだ完全凍結していない流体ejectaのプール表面に浮かんでいた。
3. troughの形成メカニズム：  
大きな固体のejectaが密接している周りを流体ejectaが低地 (central plain) に向かって流れて形成された。

33

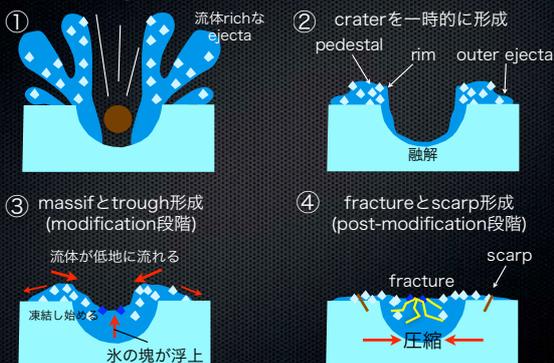
## 議論：ガニメデのリソスフェア

観測から、同程度の大きさのpalimpsestとクレーターはpalimpsestの方が古いことが分かっている。

- 初期：リソスフェアはより薄く、温度勾配が大きかった。  
→ 巨大衝突によってかなり流体richなejectaが生成可能で、それによりpalimpsestが形成。
- 近年：リソスフェアはより厚く、温度勾配が小さい。  
→ 同規模の衝突でも、ejectaが溶けるほどの温度には達せず、典型的なクレーターを形成。

34

## Palimpsestの形成メカニズム



35

## まとめ

- Palimpsest表面は4つのユニットに分けられ、それぞれガニメデクレーターの内部、pedestal facies、outer ejectaに相当することが分かった。
- 問題① Palimpsestの末端はクレーターのどこに相当するか？  
答え：Thomas and Squire (1990)説 **outer continuous ejecta末端**
- 問題② Palimpsest堆積物は何なのか？  
答え：Passey and Shoemaker (1982)説 **流体richなドロドロのejecta**

36

## おまけ

- palimpsestの意味（言語的な意味）：  
何か以前に書かれていたものが重ね書きしたか、こすれて消えたかで見えなくなっている羊皮紙。
- Voyagerの画像で見るpalimpsestはこの意味（定義）にぴったり。
- Galileoの画像で見るpalimpsestはこの定義から外れて、詳細な構造が分かった。このことから単なるghost crater（幽霊クレーター）やpalimpsestという言葉は合わなくなってしまった。
- 新しい名前を付けるべき??????