

Extraterrestrial Flux of Potentially Prebiotic C, N, and P to the Early Earth

Matthew Pasek ▪ Dante Lauro

Orig Life Evol Biosph (2008) 38:5-21 DOI 10.1007/s11084-007-9110-5

東京大学 中村圭佑(M2)

論文の位置づけ 1

生命誕生のきっかけは？

- ・雷
- ・海底熱水噴出孔
- ・太陽からの紫外線
- ・隕石衝突
- ・隕石含有の有機物

本論文の立場

隕石中に含まれていた生命前駆物質が
生命発生の大きな駆動力となった

論文の位置づけ 2

これまではcarbonaceous chondrite中心の研究
(Cooper et al.2001;Strasdeit 2005;Mix et al.2006)

本論文では明らかにしたいこと

- 1) 地球にどのような種類の天体が降り注いだのか
- 2) 全球的・局所的にどの程度の生命前駆物質が降り注いだのか

以上の二点を大まかに見積もっている

衝突天体の分類

☆サイズでの分類

large impactor

meteorite

interplanetary dust particle (IDP)

☆組成での分類

iron meteorite

carbonaceous chondrite

ordinary chondrite

これらによってもたらされたCPの量を調べる

隕石中のC、N、P

☆生命にとって有用な性質

→ C、N、Pのうち反応性が高い、もしくは親水性を示すもの

Table 1 C, N, and P compounds in ordinary chondrites, carbonaceous chondrites, and iron meteorites

	Ordinary chondrites	Hydrous carbonaceous chondrites	Iron meteorites
Carbon	IOM and graphite. Little to no cohenite or soluble organics. ^a	Soluble organics, IOM, and carbonates. Carbonates are about 10% of the total C, and the ratio of soluble to insoluble material depends on the meteorite, but usually 10:90. ^{b,c}	Graphite, diamond, and cohenite, (Fe,Ni) ₃ C. Cohenite is most common in IAB and IIICD meteorites. ^d
Nitrogen	IOM or in graphite. Little to no nitrides or soluble N-organics. ^a	IOM and soluble organic fraction. Proportionate to the soluble/insoluble ratio. ^b	Ni-rich metal, and nitride minerals CrN or (Fe, Ni) ₄ N. ^{e,f}
Phosphorus	Phosphate minerals (apatite and other Ca-phosphates (>90%). Schreibersite, (Fe,Ni) ₃ P (0–10%, dependent on type). ^g	Phosphates (>99%). Trace phosphonic acids (0.1 % total P). Rare P–S minerals. Few phosphides (<1%) ^{h,i}	Nearly all as (Fe,Ni) ₃ P. Rare phosphates, and other rare phosphides. ⁱ

先行研究 (Table 1) : 各隕石中のC、Pの状態の調査

Heavy Bombardment期のFlux

Late heavy bombardment無し ... 現在の $10^3 \sim 10^4$ 倍

(Marty and Yokochi 2006 , Owen 1998)

Late heavy bombardment有り ... 現在の 10^5 倍

(Ryder 2003)

☆LHB有りのケースでの計算をfluxの上限値とする

☆LHB後のfluxは現在のものと等しい

MeteoriteのFlux

☆MetBase Meteorite Data Retrieval Software(2005)

1) 南極圏での試料採取データ
→ 地形の影響を受ける

2) 地表への落下物の観測
→ 小さなサイズのものの観測が困難

※1000kg以上の質量のものはカウントされていない

▪ iron meteorite中のP、C、Irのwt%を算出 (Willis 1980)

Large ImpactorのFlux

Bland and Altemieva(2006)

- ・ $10^3 \sim 10^9 \text{kg}$ の衝突天体の95%以上はiron meteorite
- ・ 10^{10}kg 以上の衝突天体は石鉄隕石

heavy bombardment期において以下の式が成り立つ

$$Mass = \sum_{M=0.02\text{kg}}^{10^9} M_n \cdot (N(M_n) - N(M_{n+1})) \cdot \sqrt{1.05}$$

IDPのFlux

Love and Brownlee(1993)を採用・・・ $3 \times 10^7 \text{kg/年}$

Fluxの計算方法

$$F_X = M_F \cdot X_E \cdot k$$

F_X : large impactor、meteorite、IDPの元素Flux

M_F : large impactor、meteorite、IDPの年間Flux

X_E : C、Pの存在度

k : 各状態による値

Table2 の値(先行研究より)と、各年間fluxを使い
C、Pの存在度を計算

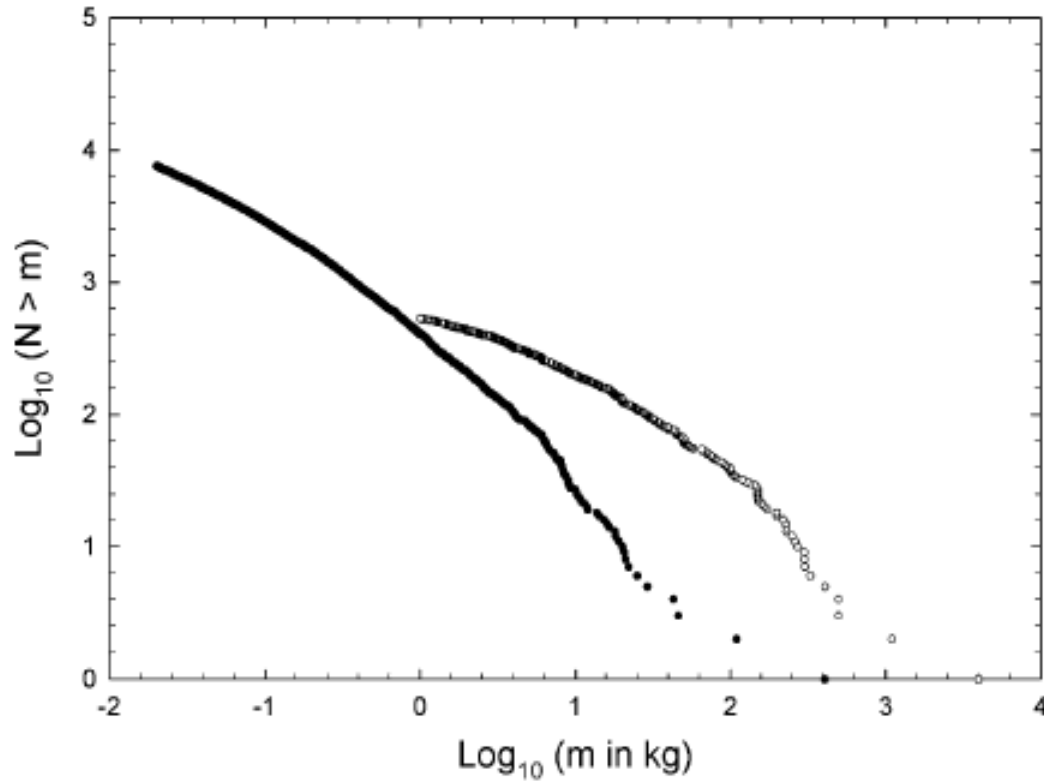
mass flux (Table4)

Table 4 Total mass flux in kilogram per year of extraterrestrial material, potentially prebiotic reagents, and iridium, sorted by class

Class	Flux	C	N	P	Ir
CC	600	0.5	0.03	0.006	0.0003
OC	30,000	~0	~0	0.3	0.018
Iron	13,000	2	0.4	70	0.075
IDPs	3×10^7	5×10^4	800	900	15
LHB					
Iron	3×10^{10}	5×10^6	10^6	10^8	10^5
CC	8×10^7	10^5	5×10^3	1000	40
OC	3×10^9	0	0	3×10^4	2×10^3
IDPs	3×10^{12}	5×10^9	10^8	10^8	10^6

- ・生命前駆物質の主要な生成源はIDP
- ・iron meteoriteはPの主要な生成源

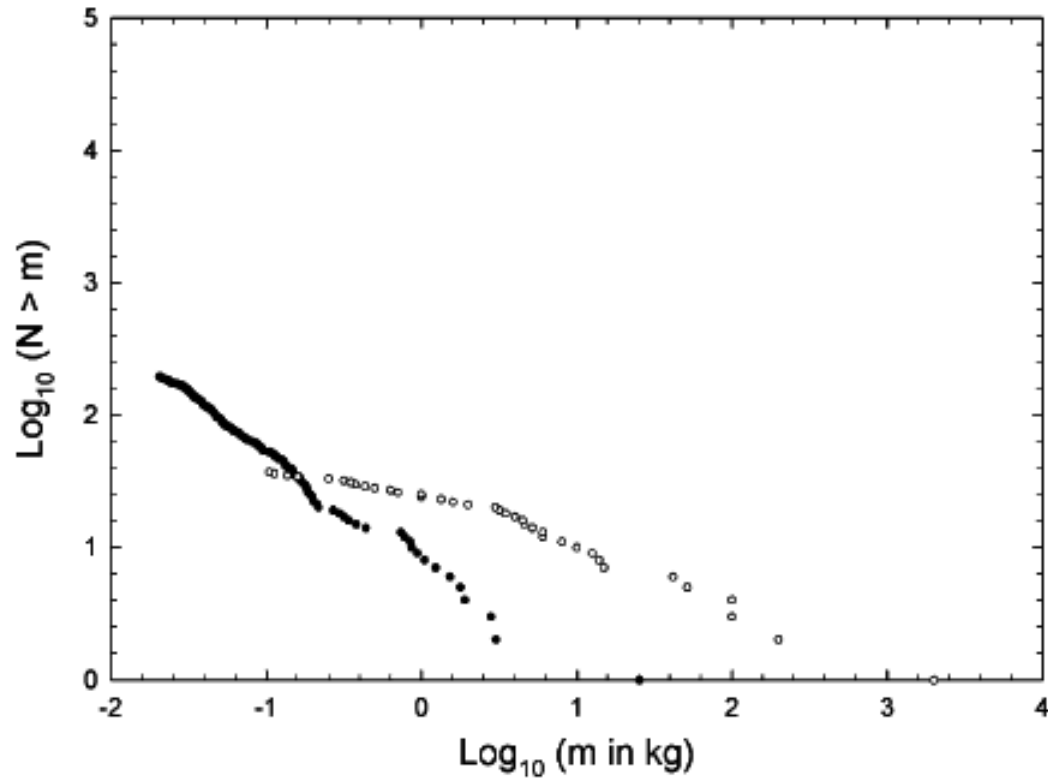
質量分布 (ordinary chondrite)



● : 南極圏にて採取
○ : 観測値

観測値の小質量領域の頻度が落ちる
→ 観測できるサイズに限界があるため

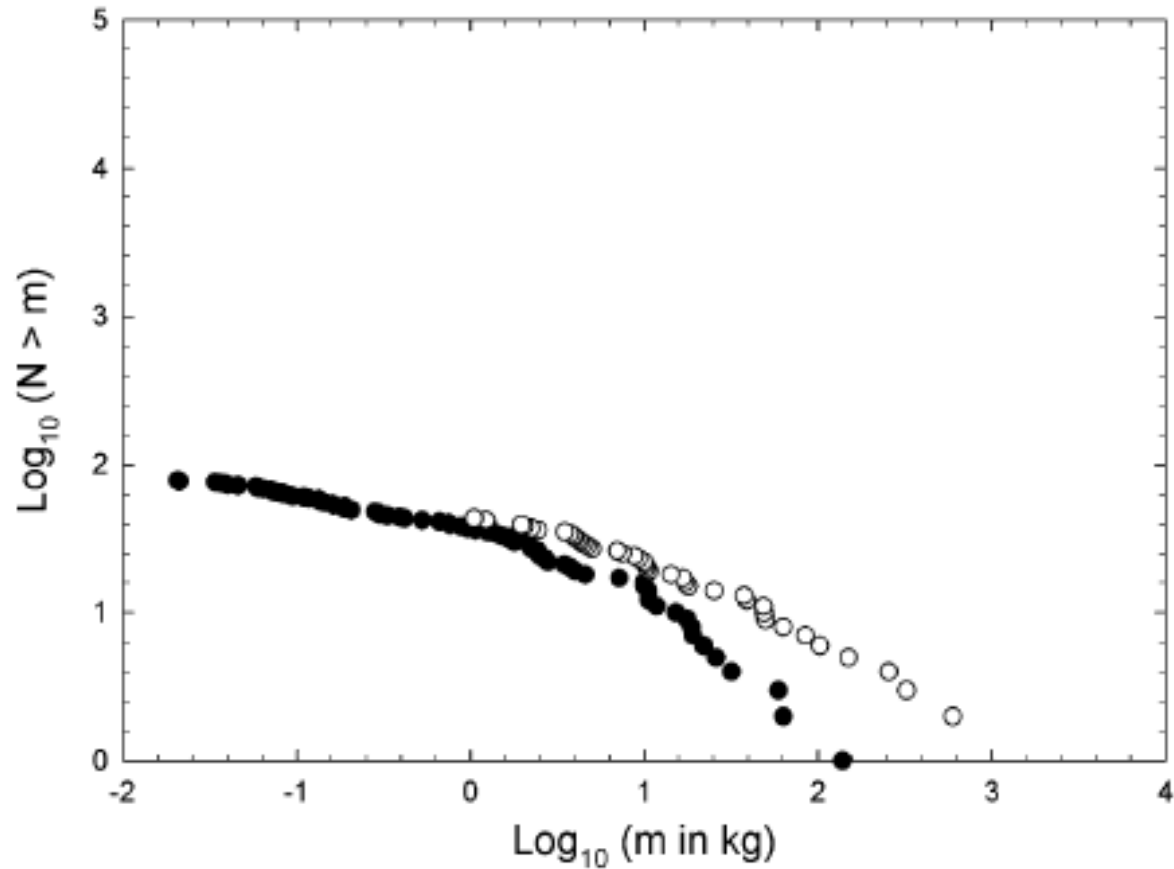
質量分布 (carbonaceous chondrite)



● : 南極圏にて採取
○ : 観測値

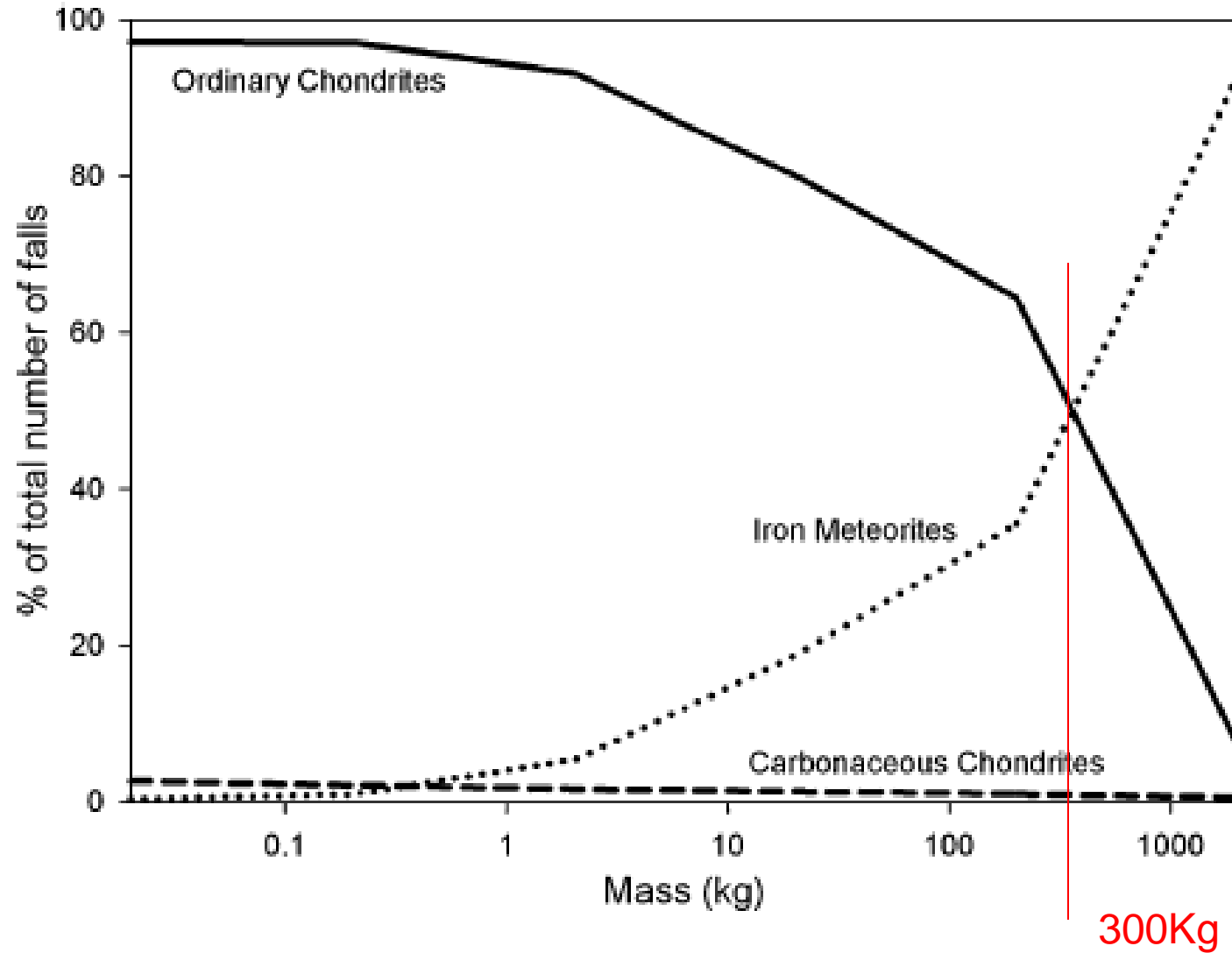
南極圏採取の大質量領域の頻度が落ちる
→ 地形効果が効きやすい
(氷への潜り込み)

質量分布 (iron meteorite)



- : 南極圏にて採取
- : 観測値

隕石質量と組成



300kg以下 : OCが支配的
300kg以上 : ironが支配的

局所的な生成

地球表面あたりにIDPが与えるFlux

→ C \sim 0.1g/km²

P \sim 20 μ g/km²

Large iron impactorが局所的に与えるFlux

→ P \sim 10000kg/km²

・・・heavy bombardment期には1個/100年

Table 6 Regional minimum and maximum fluxes during the late heavy bombardment

Element	Minimum flux (kg/km ²)	Maximum flux (kg/km ²)
C	10	3×10^3
N	0.2	500
P	3×10^{-4}	10^5

Heavy bombardment期の最大fluxと最小flux

IDP由来の有機化合物量

$$[X] = \frac{W_{murchison}}{500} \frac{kg}{ppm \cdot year \cdot km^2}$$

Pizzarello et al 2006

Irの総Flux

$$Ir = F_{LHB} \cdot t_{LHB} + F_{Ir} \cdot (4 \times 10^9 - t_{LHB})$$

※40億年間の総量

まとめ

地球へ降り注ぐ各物質のfluxを先行研究とサンプル採取のデータから大まかに見積もった

- 生命前駆物質の含有はcarbonaceous chondriteではなくIDPに多く含まれている
- large impactorの衝突により、局所的に豊富なPの生成が起こった可能性