

大陸三層モデルに基づく 地球ニュートリノフラックスの評価

石塚雄太、鈴木英之（東京理科大学）

戎崎 俊一（理化学研究所）

丸山茂徳（東京工業大学地球生命研究所）

$$\Phi_i(\vec{r}) = A_i \cdot n_i \int \frac{a(\vec{r}')\rho(\vec{r}')}{4\pi|\vec{r} - \vec{r}'|^2} P(|\vec{r} - \vec{r}'|) d^3\vec{r}' \quad (i : U, Th)$$

(S.Enomoto et al., 2007)

$\vec{r}$: 観測場所の所在地

KamLAND (北緯36.43°、東経137.31°、海拔 358 m)

ハワイ (北緯19.72°、西経156.32°、海拔 -4000 m)

南太平洋(トケラウ諸島)海底 (南緯10.5°、西経170.5°、海拔 -4000 m)

南太平洋(トケラウ諸島)海面

$A_i : U, Th$ 単位質量当たりの崩壊率

$$A_U = 1.24 \times 10^7 \text{ s}^{-1} \text{ kg}^{-1}, A_{Th} = 4.06 \times 10^7 \text{ s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$$

n_i : 崩壊時に放出するニュートリノ数

$$n_U = 6, n_{Th} = 4$$

$P(|\vec{r} - \vec{r}'|) : |\vec{r} - \vec{r}'|$ 移動後のニュートリノ振動による生存確率 $P = 0.59$

$a(\vec{r}')$: 単位質量に対するU, Th の質量の割合

$\rho(\vec{r}')$: 密度

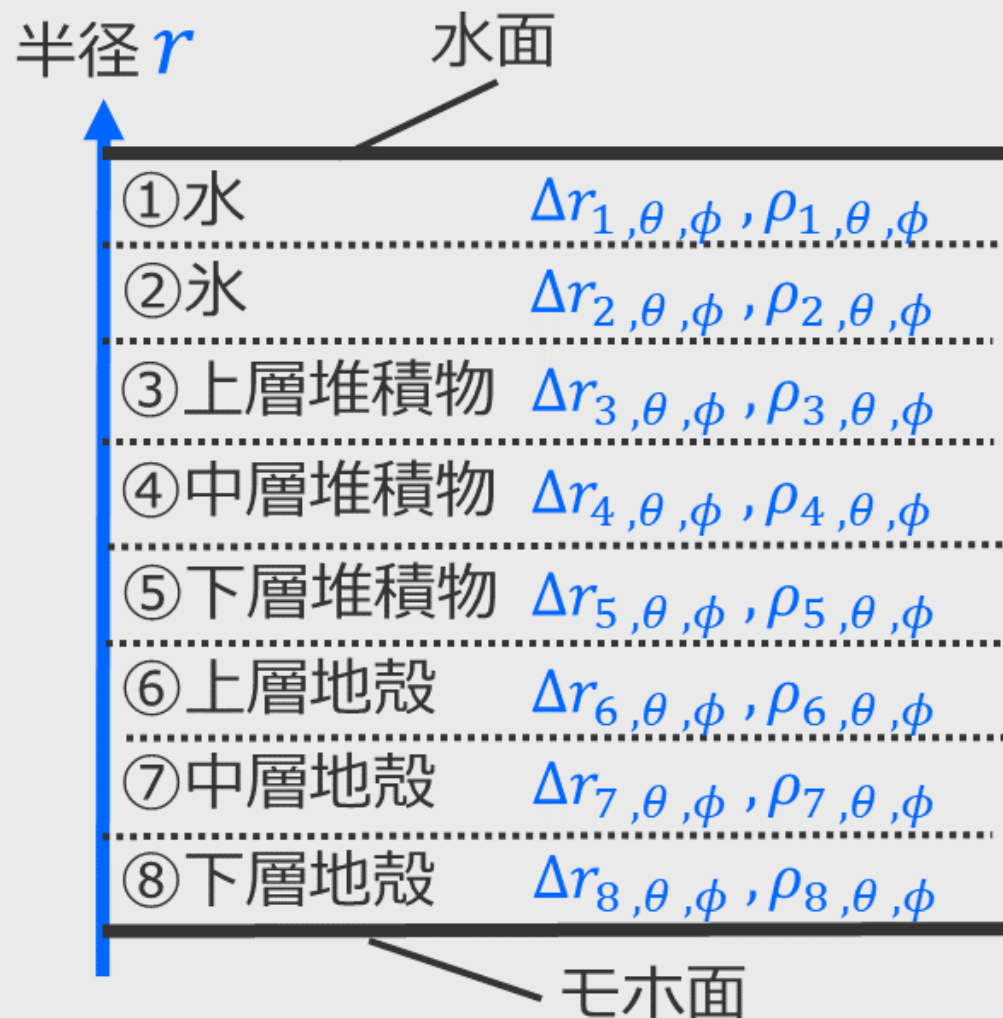
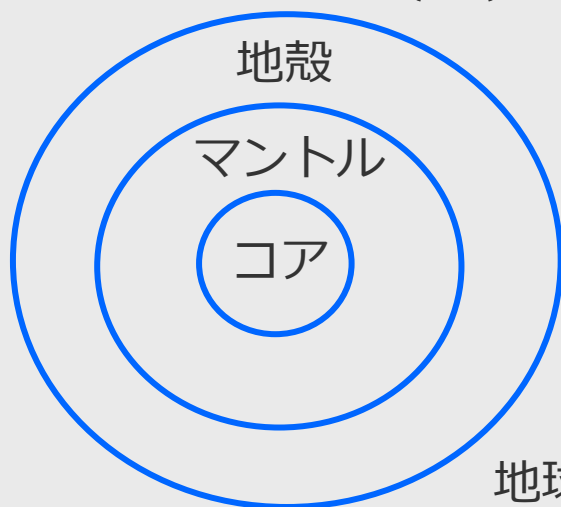
密度 $\rho(\vec{r}')$

PREM (コア・マントル)

$$\rho(\vec{r}') = \rho(r')$$

CRUST 1.0 (地殻)

$$\rho(\vec{r}') = \rho(r', \theta', \phi')$$



CRUST1.0による領域の区別

U, Thの割合 $a(\vec{r}')$

均一マントル分布(先行研究)

マントル全域に均一分布

均一第三大陸分布

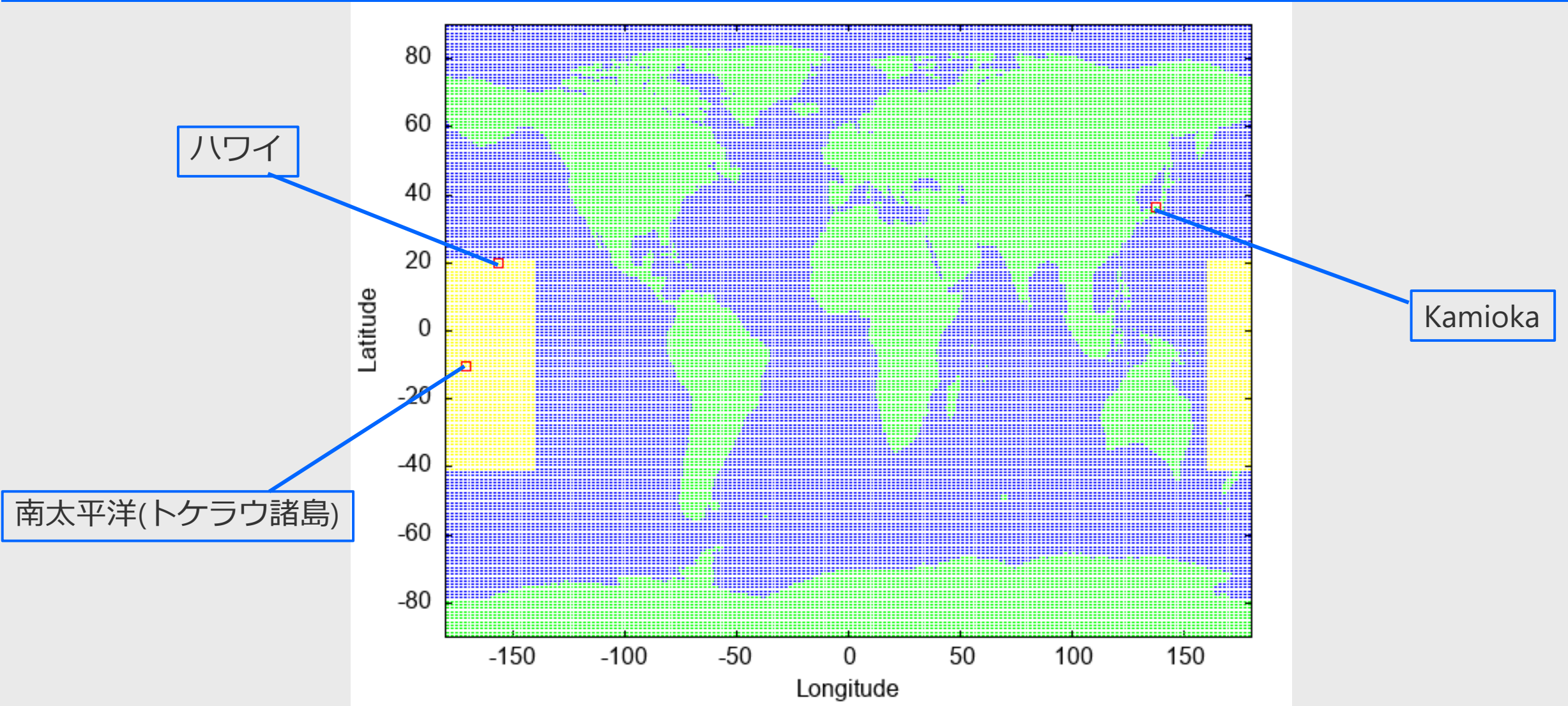
マントルの底から300kmに均一分布

局所的第三大陸分布

マントル分布量の半分が、底から
300kmまでの東経160° ~ 西経140°、
北緯20° ~ 南緯40°に分布

先行研究(S.Enomoto et al., 2007)の地球参照モデル

Reservoir		Concentration [ppm]	
		U	Th
Sediment	Continental	2.8	10.7
	Oceanic	1.7	6.9
Continental Crust	Upper	2.8	10.7
	Middle	1.6	6.1
	Lower	0.2	1.2
Oceanic Crust		0.10	0.22
Mantle	Upper	0.012	0.048
	Lower	0.012	0.048
Core	Outer	0	0
	Inner	0	0
Bulk Silicate Earth (BSE)		0.0203	0.0795



本研究のContinental / Oceanic区分。緑がContinental部分に、青がOceanic部分に対応している。
さらに、赤でDetectorの位置を、黄色領域でU,Thの局所過剰領域を図示している。

Flux(Kamioka,先行研究(S.Enomoto et al., 2007))に対する相対評価

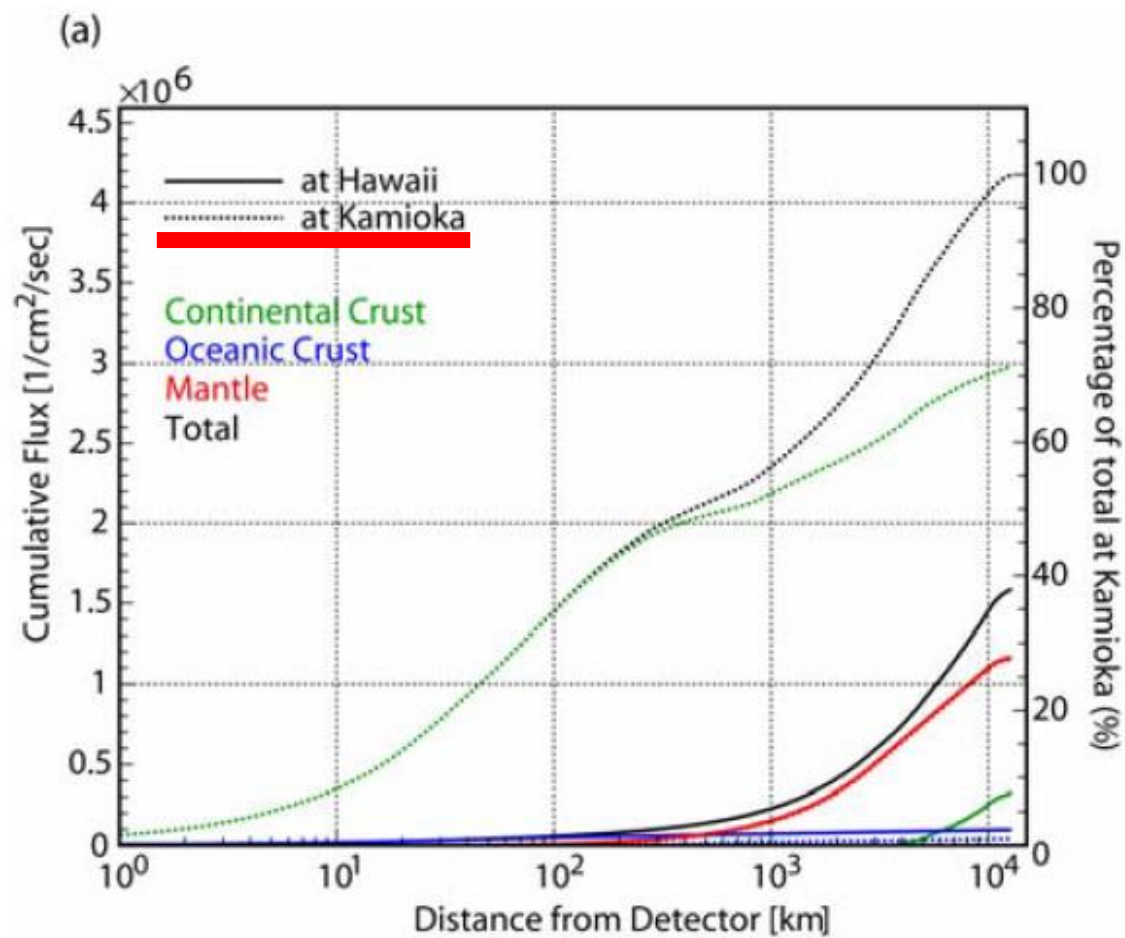
		Flux / Flux(Kamioka,先行研究)			
U/Th分布	観測サイト	Kamioka	ハワイ	太平洋海底	太平洋海面
	先行研究(均一マントル分布)	1.00	0.36		
	均一マントル分布	0.92	0.33	0.32	0.31
	均一第三大陸分布	0.87	0.27	0.26	0.25
	局所的第三大陸分布	0.84	0.38	0.47	0.46

ただし、Flux(Kamioka,先行研究)はKamiokaにおける先行研究のフラックスであり、
 $\text{Flux(Kamioka,先行研究)} = 4.33 \times 10^6 / \text{cm}^2 / \text{sec}$ である。

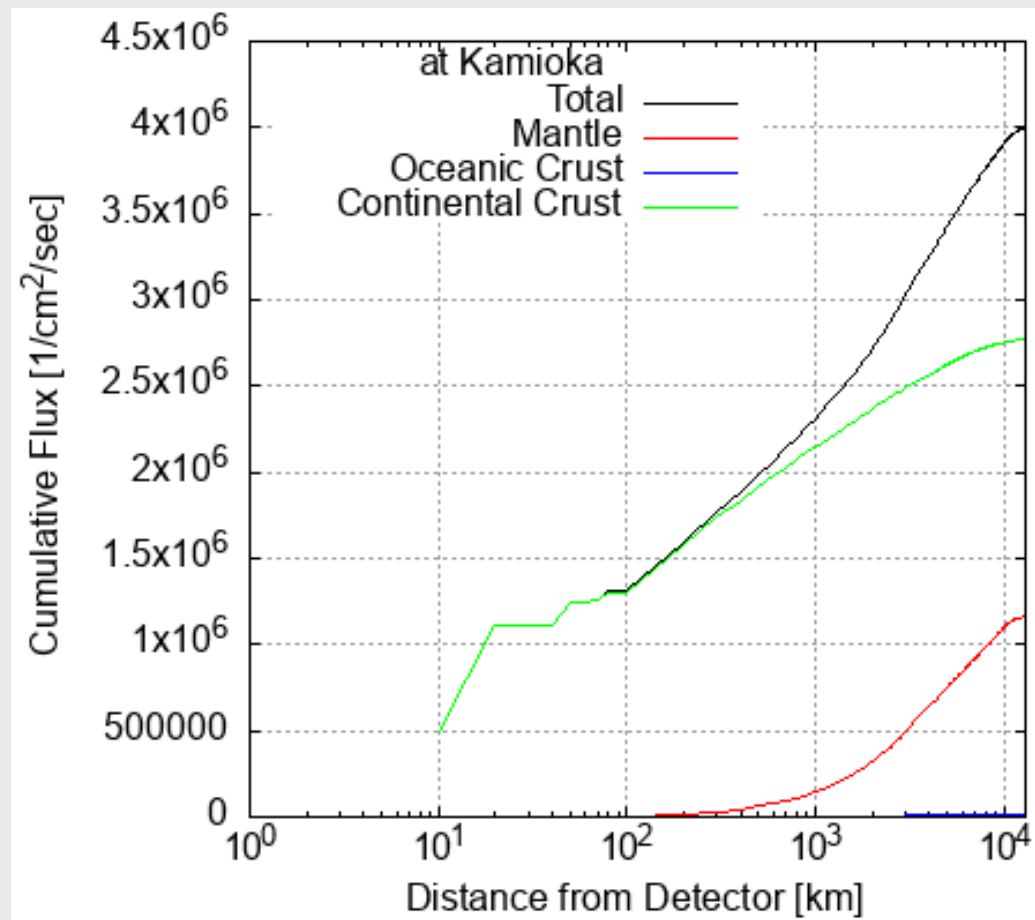
Flux(Kamioka,先行研究(S.Enomoto et al., 2007))に対する相対評価

		Flux / Flux(Kamioka,先行研究)			
観測サイト U/Th分布		Kamioka	ハワイ	太平洋海底	太平洋海面
	先行研究(均一マントル分布)	1.00	0.36		
	均一マントル分布	0.92	0.33	0.32	0.31
	均一第三大陸分布	0.87	0.27	0.26	0.25
	局所的第三大陸分布	0.84	0.38	0.47	0.46

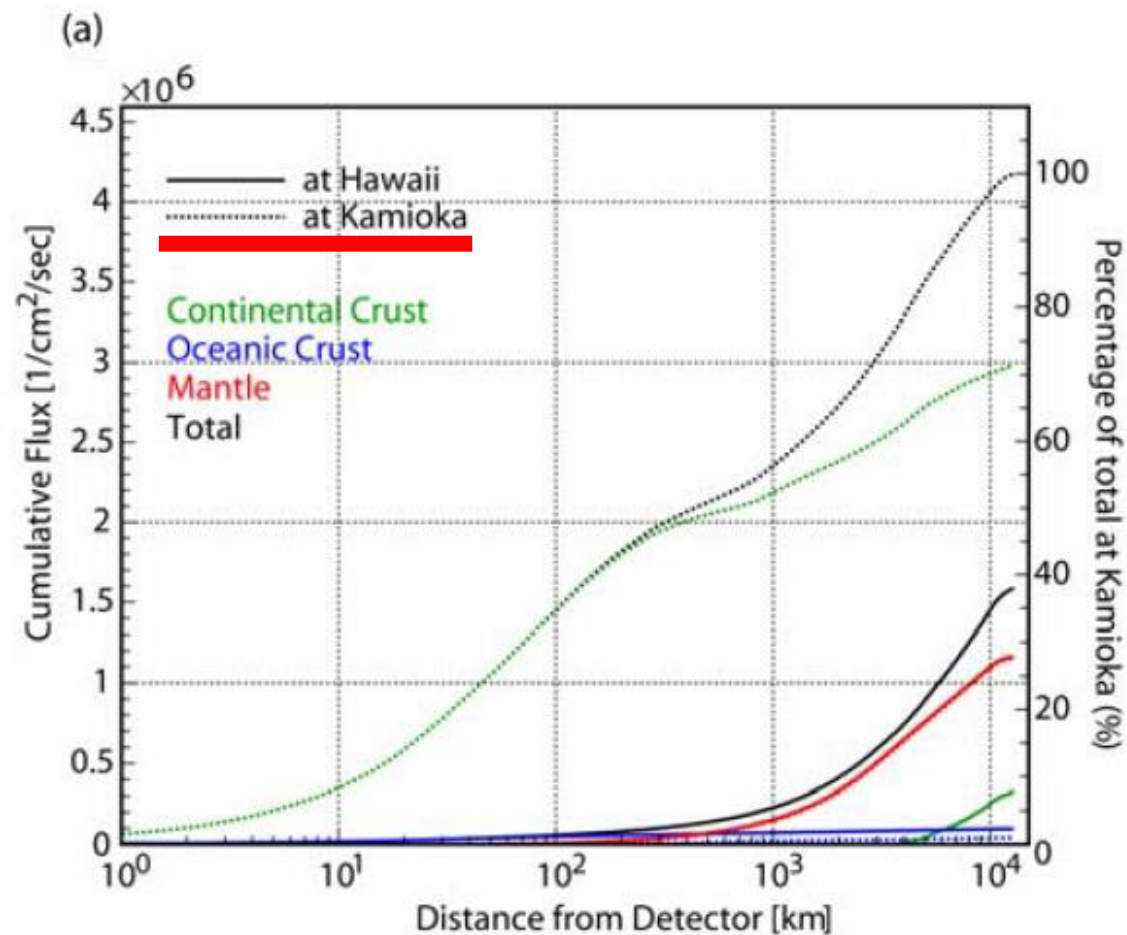
ただし、Flux(Kamioka,先行研究)はKamiokaにおける先行研究のフラックスであり、
 $\text{Flux(Kamioka,先行研究)} = 4.33 \times 10^6 / \text{cm}^2 / \text{sec}$ である。



先行研究の結果

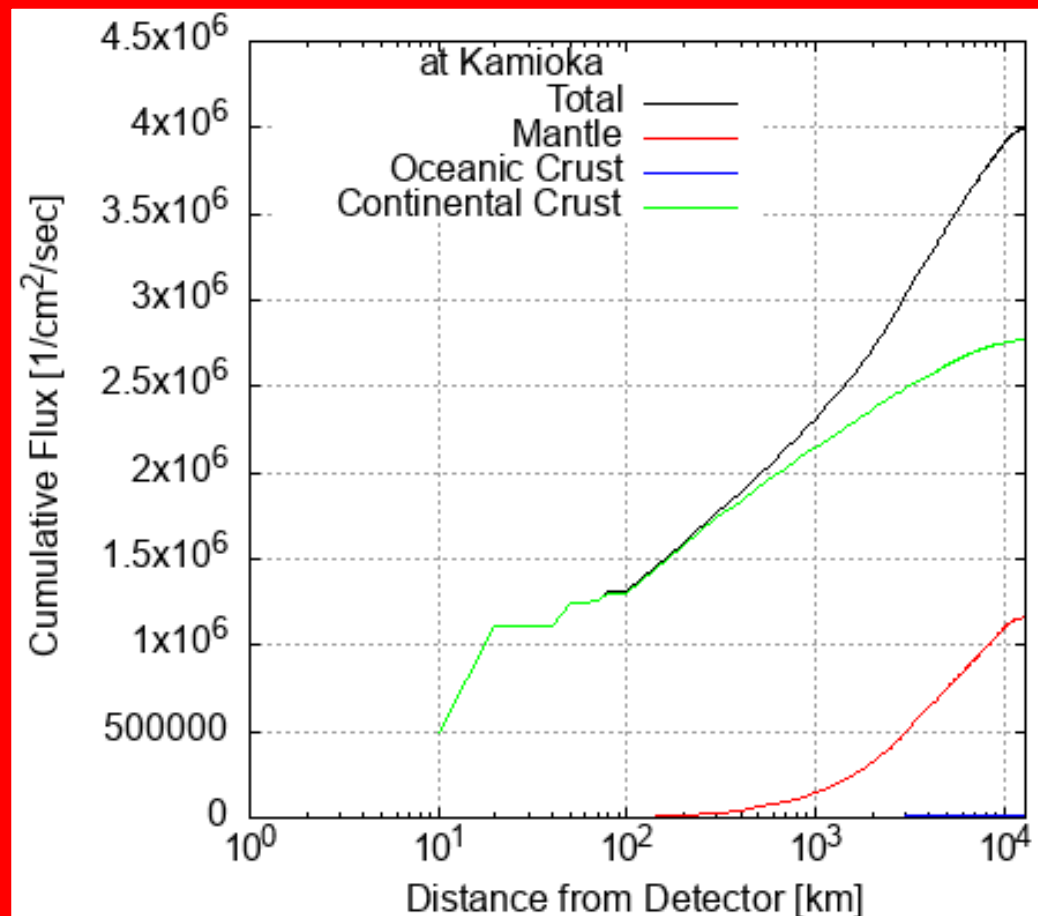


本研究のKamiokaでの結果



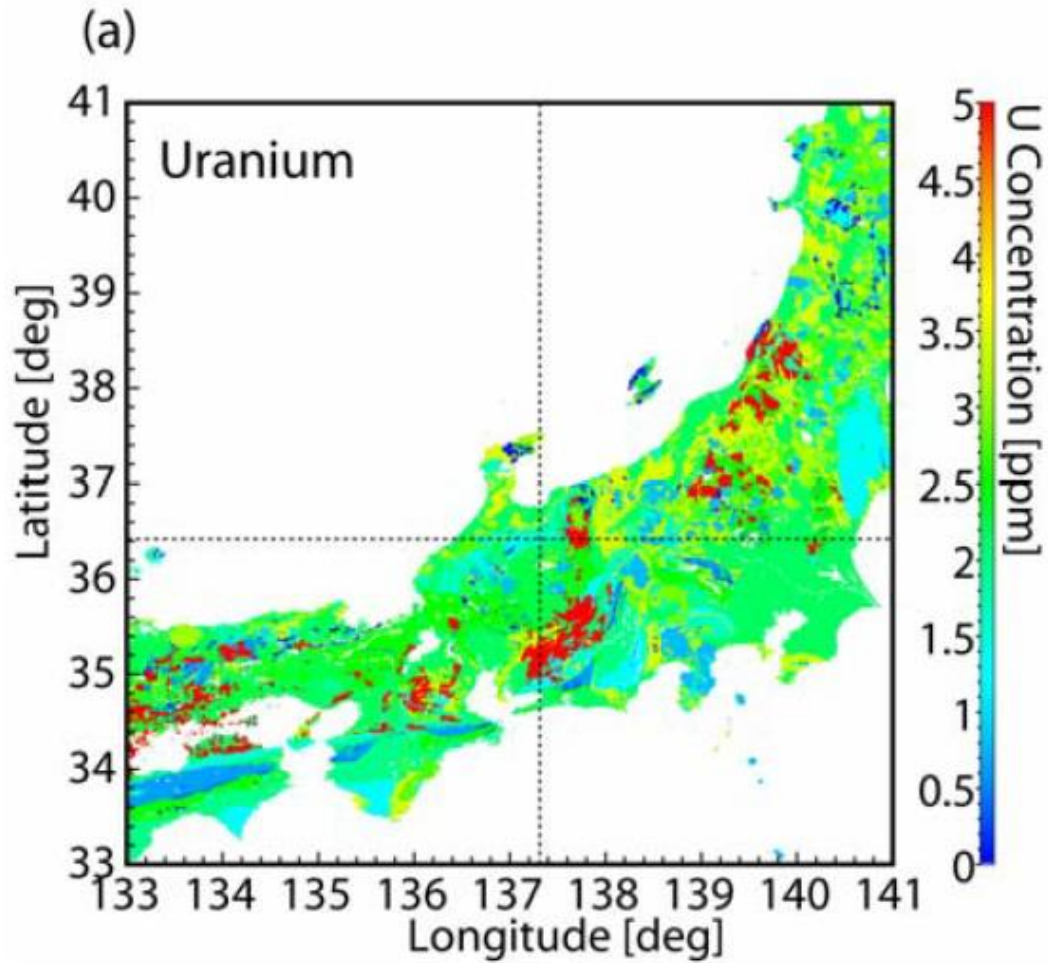
先行研究

$$\text{Total Flux} = 4.33 \times 10^6 / (\text{cm}^2 \cdot \text{sec})$$

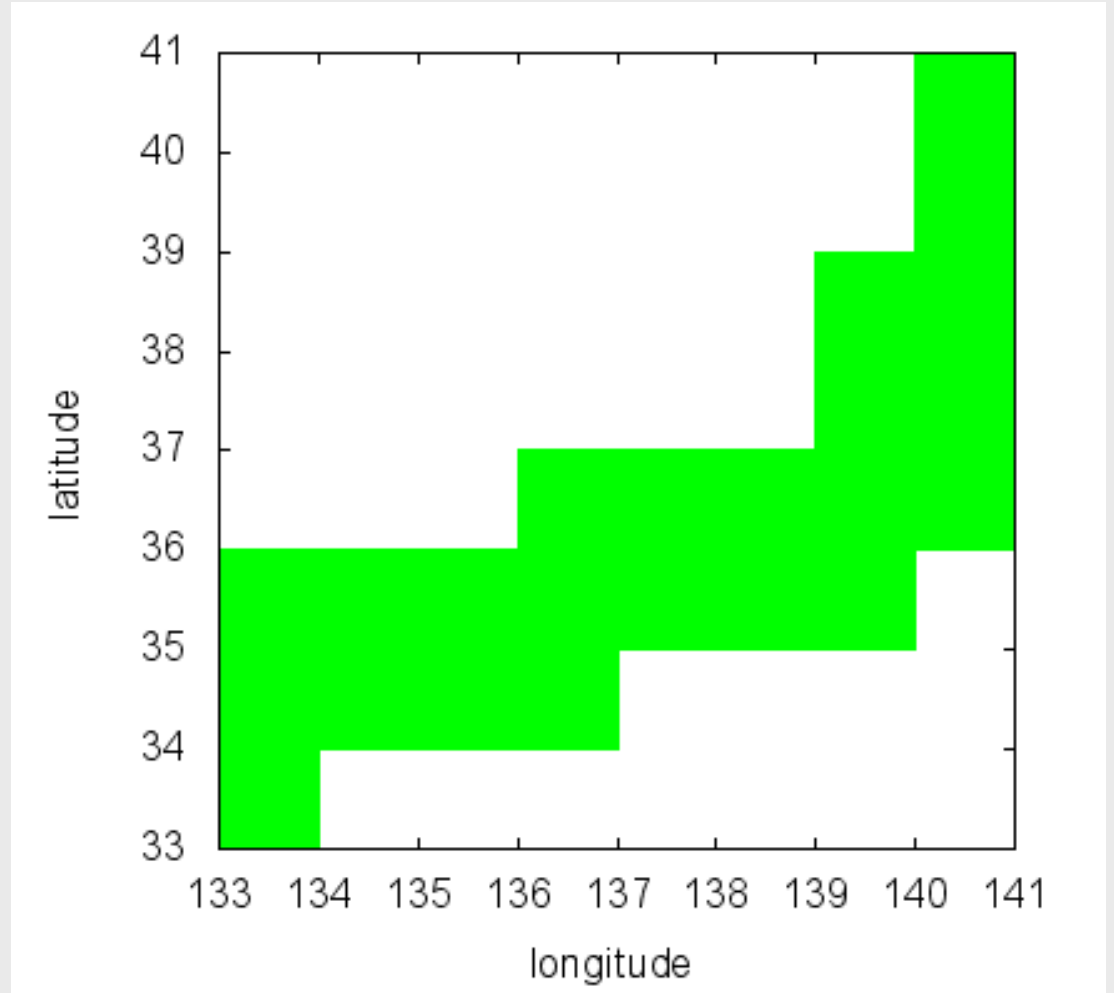


本研究

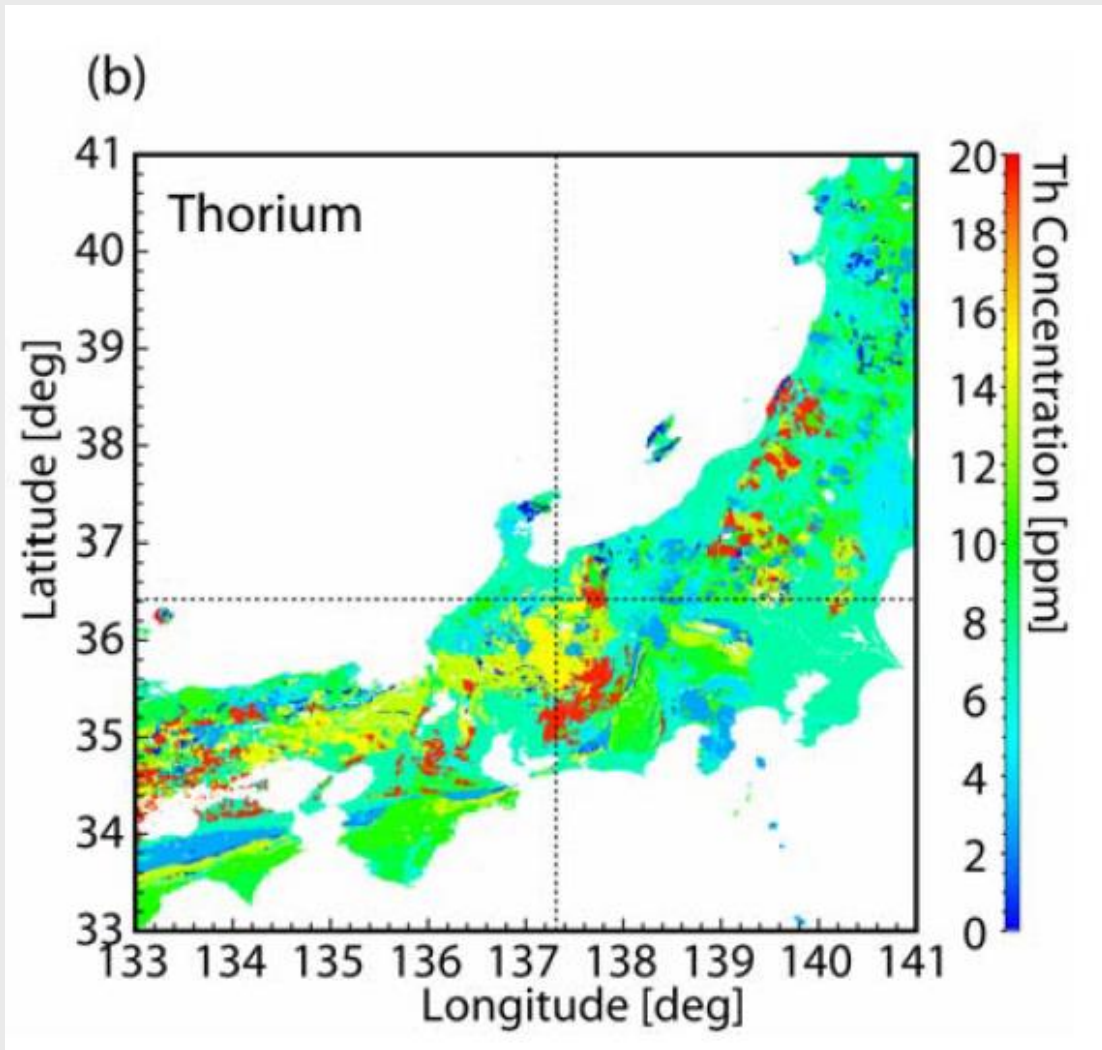
$$\text{Total Flux} = 4.00 \times 10^6 / (\text{cm}^2 \cdot \text{sec})$$



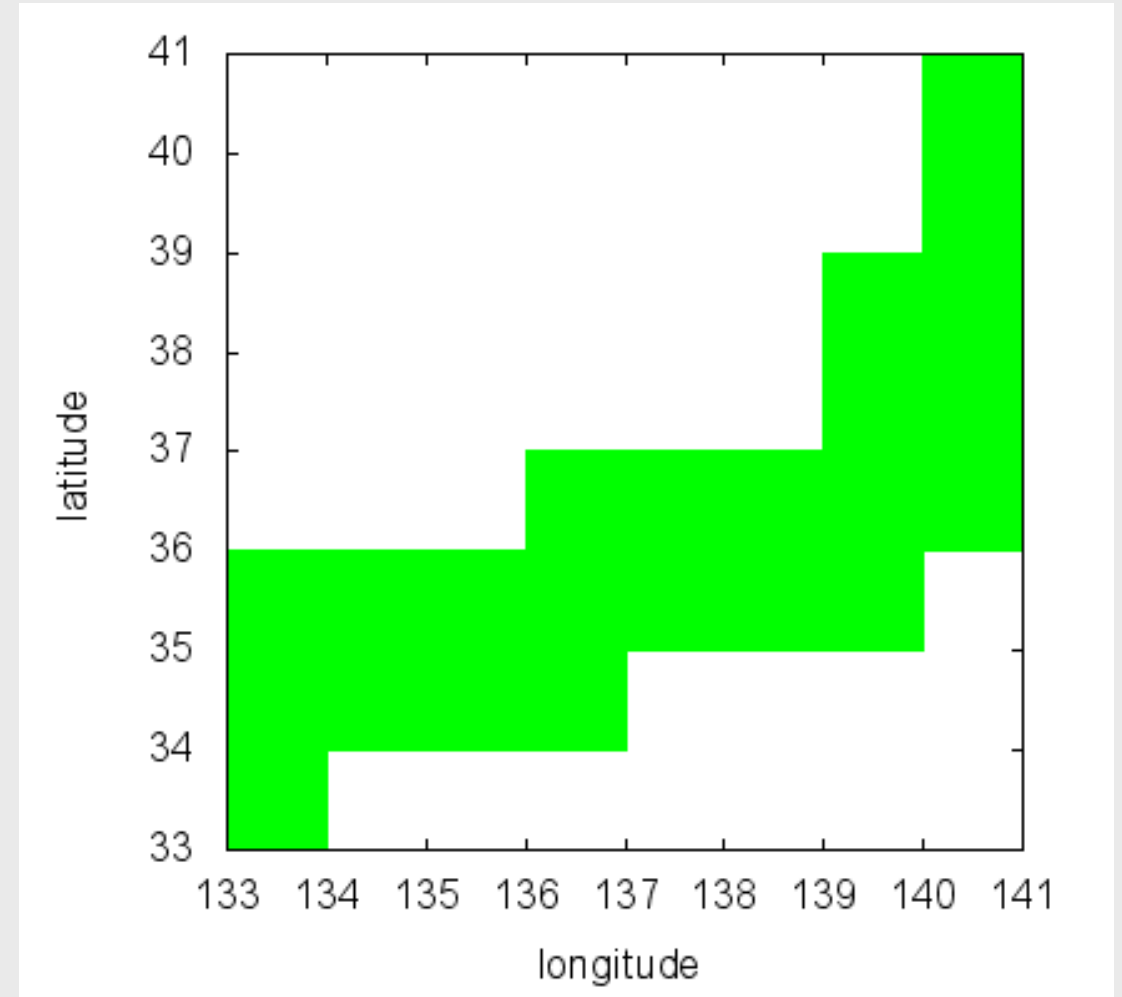
先行研究のU分布



本研究のU分布 (2.8 ppm)



先行研究のU分布

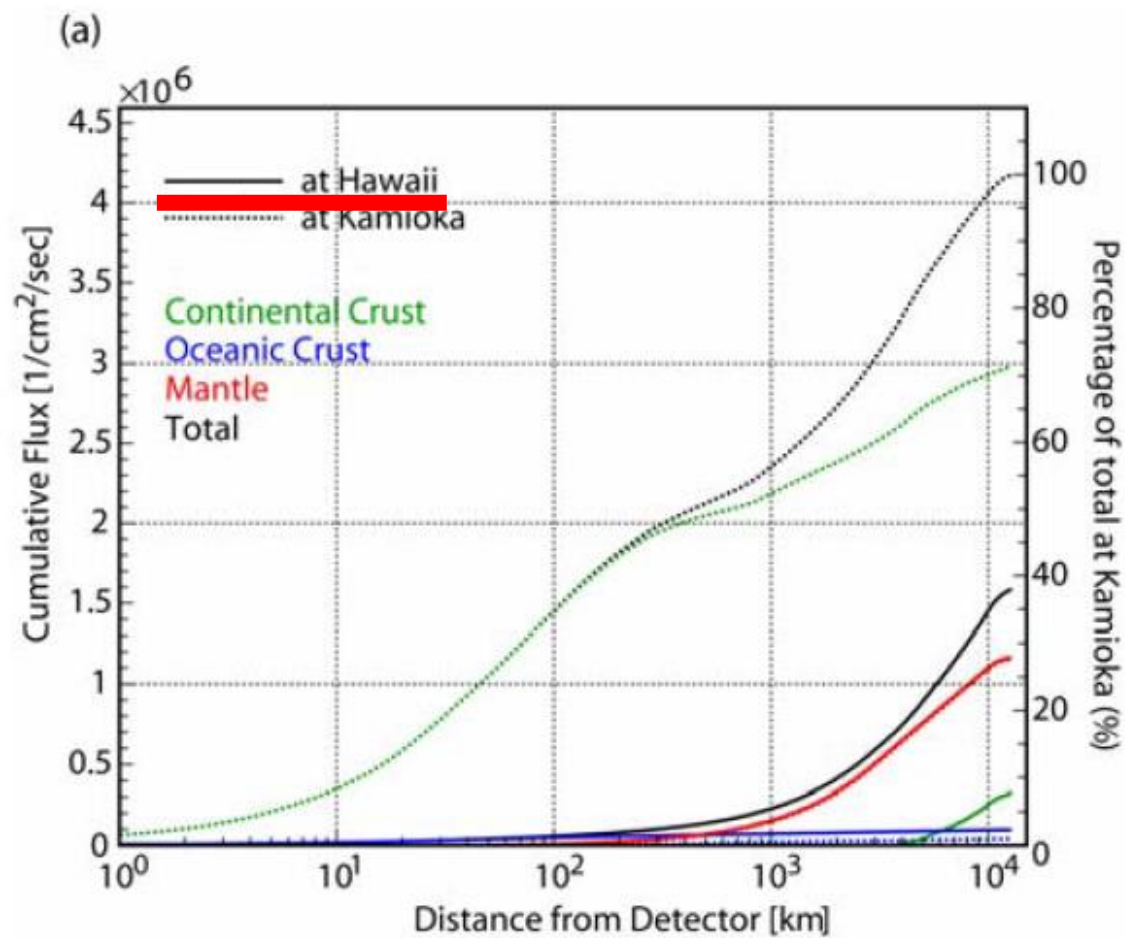


本研究のTh分布 (10.7 ppm)

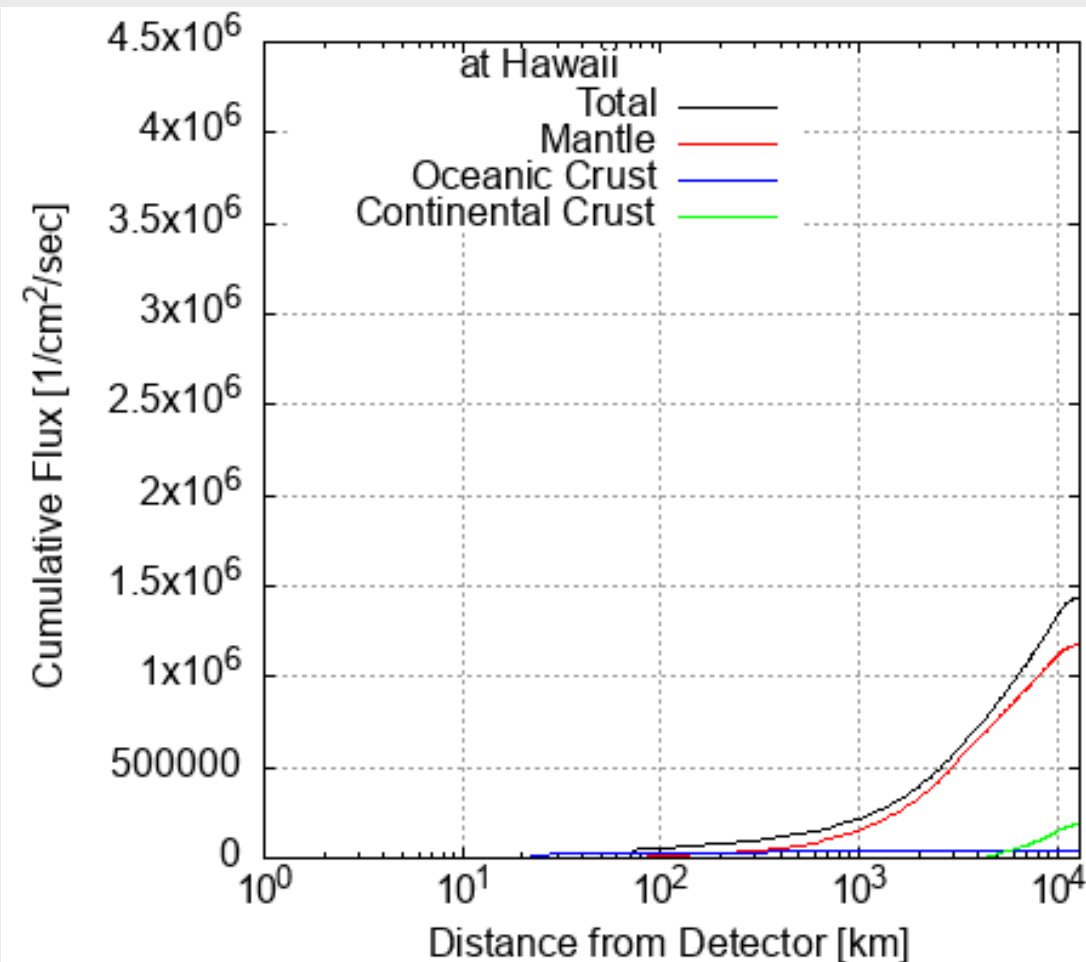
Flux(Kamioka,先行研究(S.Enomoto et al., 2007))に対する相対評価

		Flux / Flux(Kamioka,先行研究)			
観測サイト U/Th分布		Kamioka	ハワイ	太平洋海底	太平洋海面
	先行研究(均一マントル分布)	1.00	0.36		
	均一マントル分布	0.92	0.33	0.32	0.31
	均一第三大陸分布	0.87	0.27	0.26	0.25
	局所的第三大陸分布	0.84	0.38	0.47	0.46

ただし、Flux(Kamioka,先行研究)はKamiokaにおける先行研究のフラックスであり、
 $\text{Flux(Kamioka,先行研究)} = 4.33 \times 10^6 / \text{cm}^2 / \text{sec}$ である。



先行研究の結果

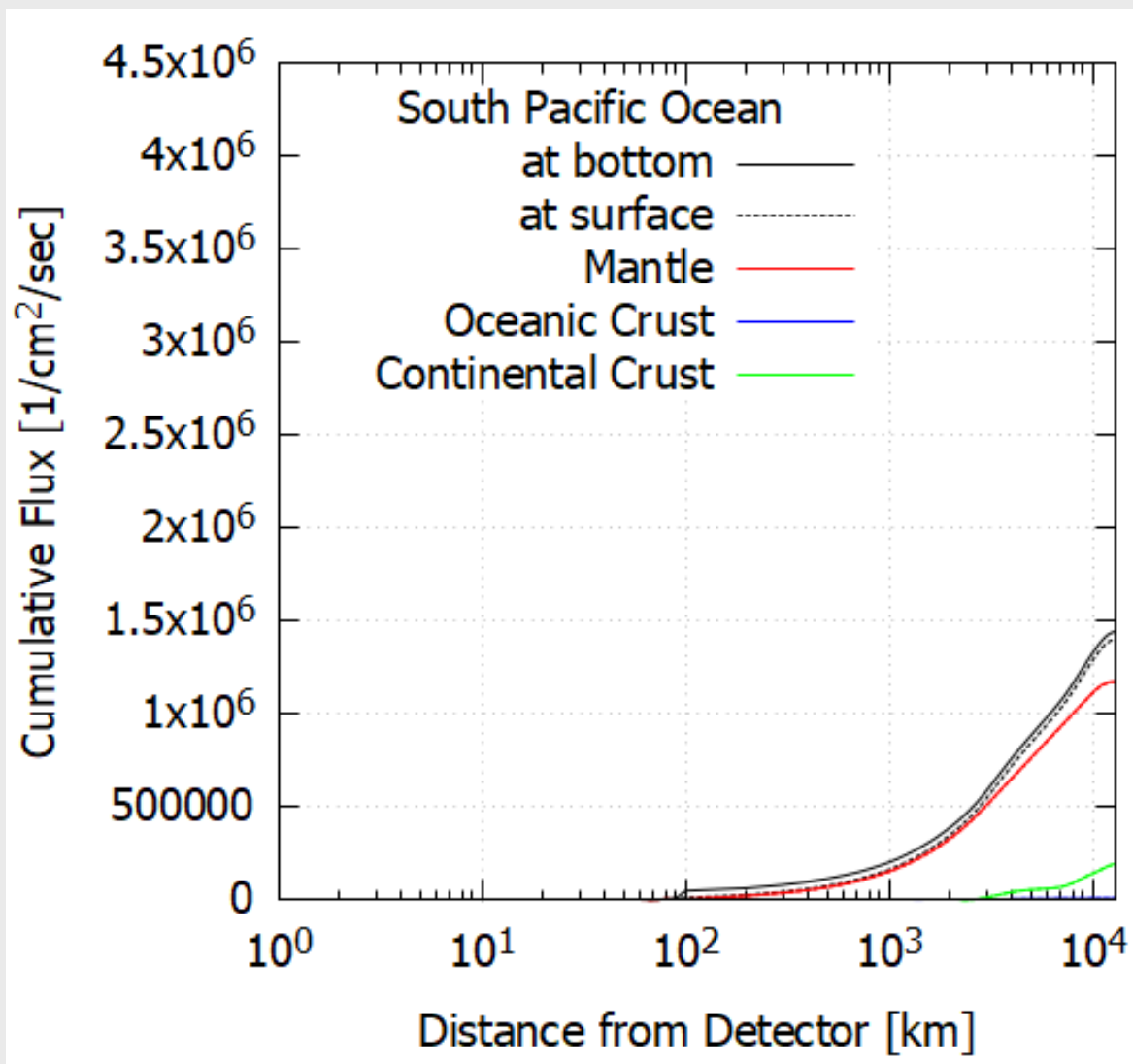


本研究のHawaiiでの結果

Flux(Kamioka,先行研究(S.Enomoto et al., 2007))に対する相対評価

		Flux / Flux(Kamioka,先行研究)			
観測サイト U/Th分布		Kamioka	ハワイ	太平洋海底	太平洋海面
	先行研究(均一マントル分布)	1.00	0.36		
	均一マントル分布	0.92	0.33	0.32	0.31
	均一第三大陸分布	0.87	0.27	0.26	0.25
	局所的第三大陸分布	0.84	0.38	0.47	0.46

ただし、Flux(Kamioka,先行研究)はKamiokaにおける先行研究のフラックスであり、
 $\text{Flux(Kamioka,先行研究)} = 4.33 \times 10^6 / \text{cm}^2 / \text{sec}$ である。



南太平洋海底でのフラックス

$$1.39 \times 10^6 / (\text{cm}^2 \cdot \text{sec})$$

南太平洋海面でのフラックス

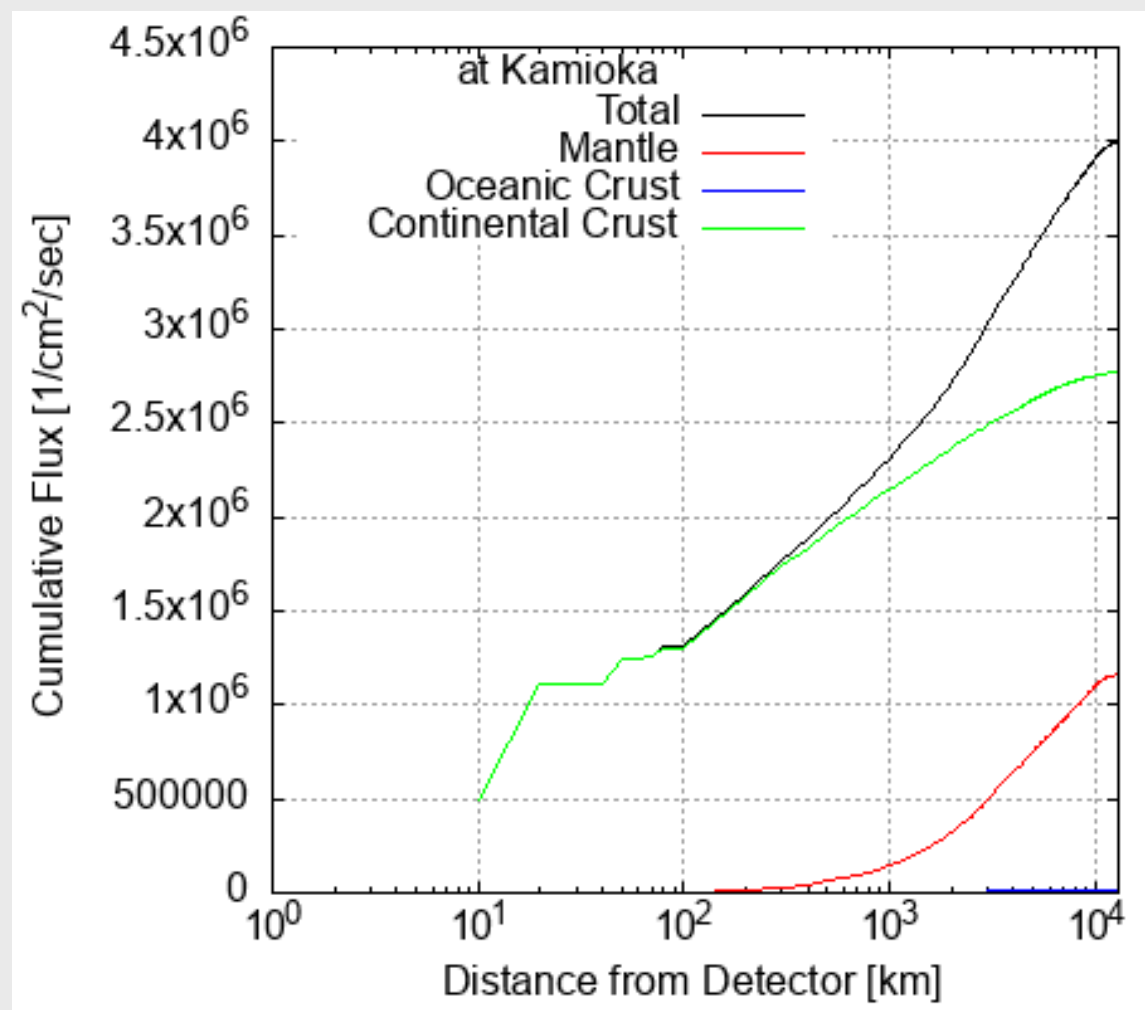
$$1.35 \times 10^6 / (\text{cm}^2 \cdot \text{sec})$$

南太平洋海底、海面でのフラックス

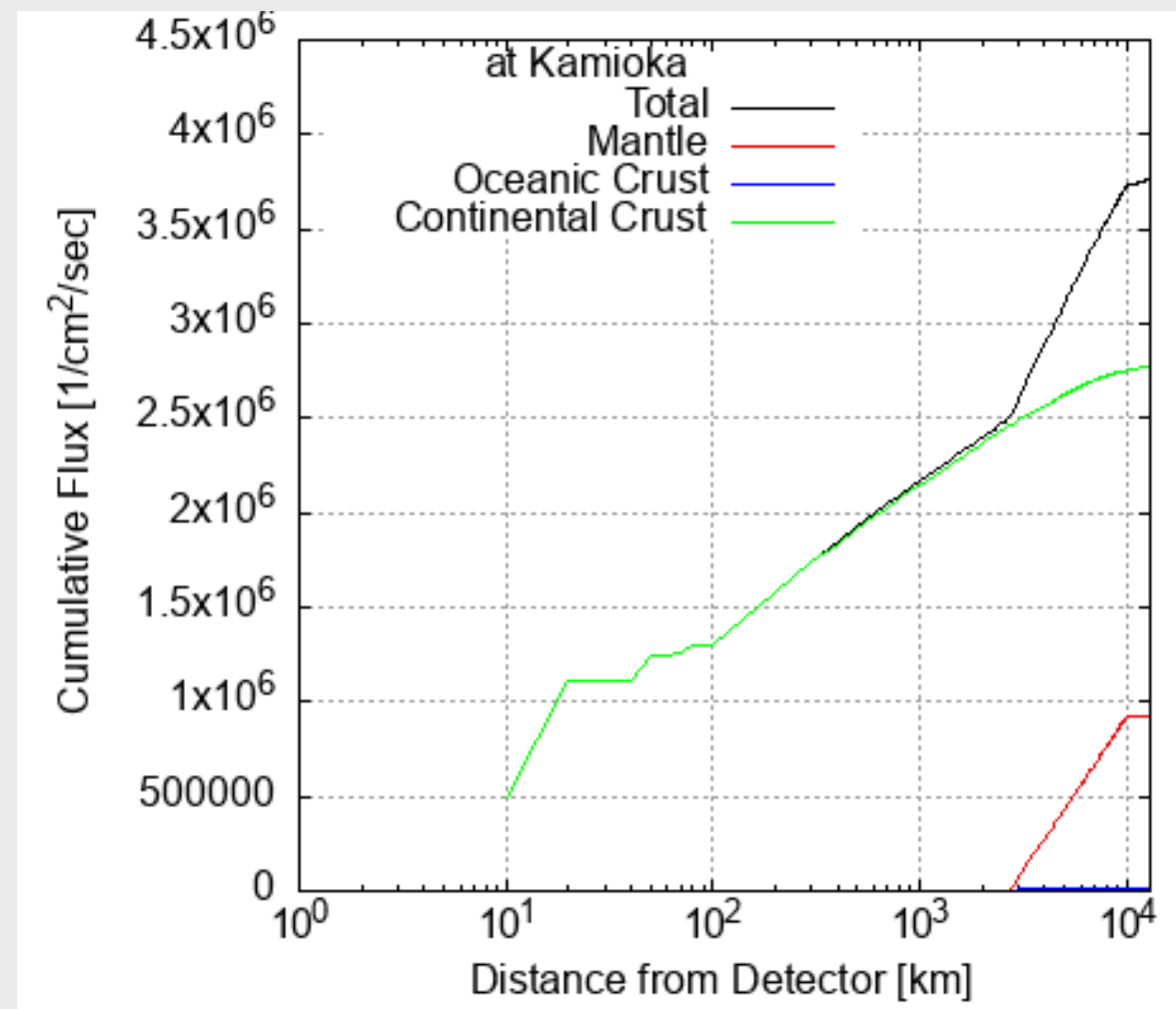
Flux(Kamioka,先行研究(S.Enomoto et al., 2007))に対する相対評価

		Flux / Flux(Kamioka,先行研究)			
U/Th分布	観測サイト	Kamioka	ハワイ	太平洋海底	太平洋海面
先行研究(均一マントル分布)		1.00	0.36		
均一マントル分布		0.92	0.33	0.32	0.31
均一第三大陸分布		0.87	0.27	0.26	0.25
局所的第三大陸分布		0.84	0.38	0.47	0.46

ただし、Flux(Kamioka,先行研究)はKamiokaにおける先行研究のフラックスであり、
 $\text{Flux(Kamioka,先行研究)} = 4.33 \times 10^6 / \text{cm}^2 / \text{sec}$ である。



本研究の均一マントル分布の場合

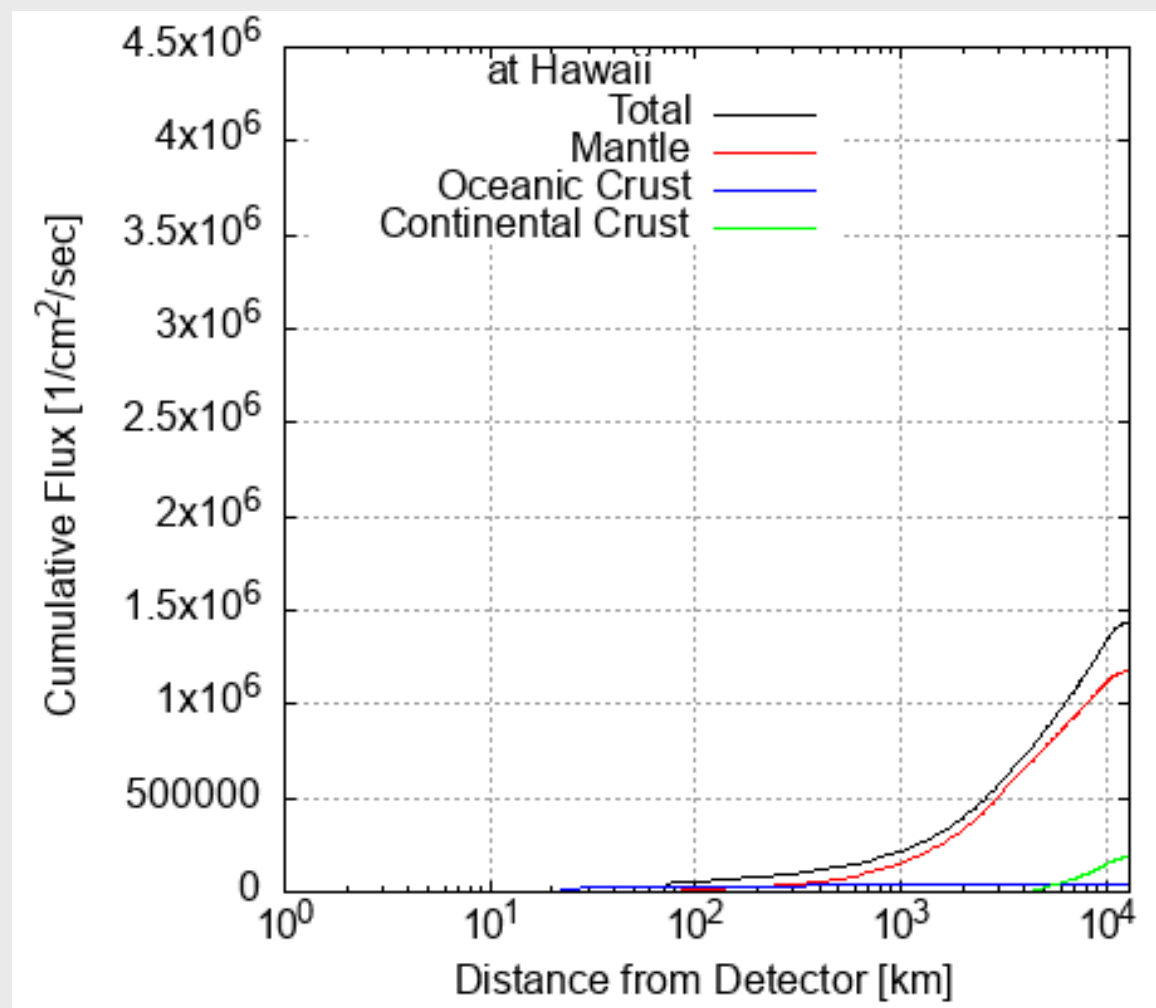


本研究の均一第三大陸分布の場合

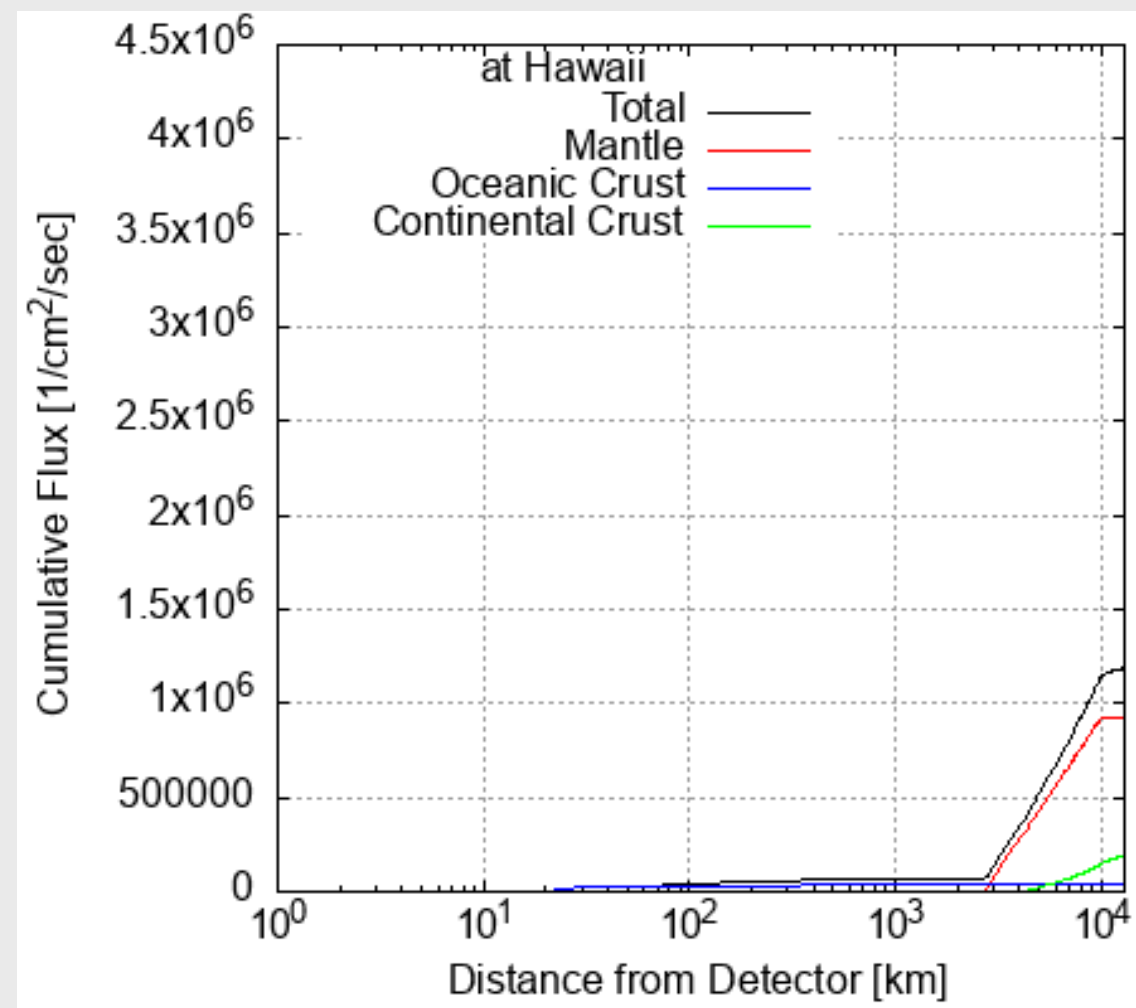
Flux(Kamioka,先行研究(S.Enomoto et al., 2007))に対する相対評価

		Flux / Flux(Kamioka,先行研究)			
観測サイト U/Th分布		Kamioka	ハワイ	太平洋海底	太平洋海面
	先行研究(均一マントル分布)	1.00	0.36		
	均一マントル分布	0.92	0.33	0.32	0.31
	均一第三大陸分布	0.87	0.27	0.26	0.25
	局所的第三大陸分布	0.84	0.38	0.47	0.46

ただし、Flux(Kamioka,先行研究)はKamiokaにおける先行研究のフラックスであり、
 $\text{Flux(Kamioka,先行研究)} = 4.33 \times 10^6 / \text{cm}^2 / \text{sec}$ である。



本研究の均一マントル分布の場合

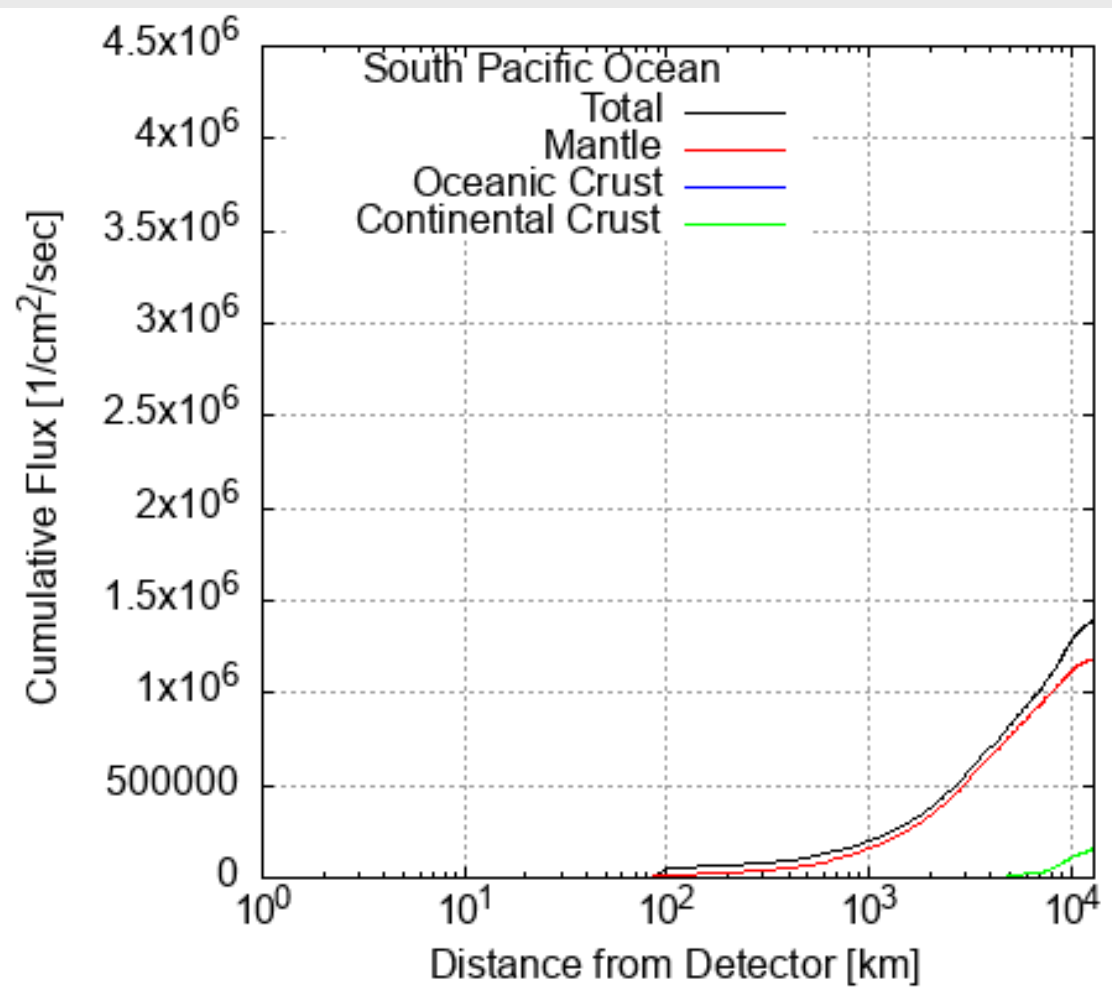


本研究の均一第三大陸分布の場合

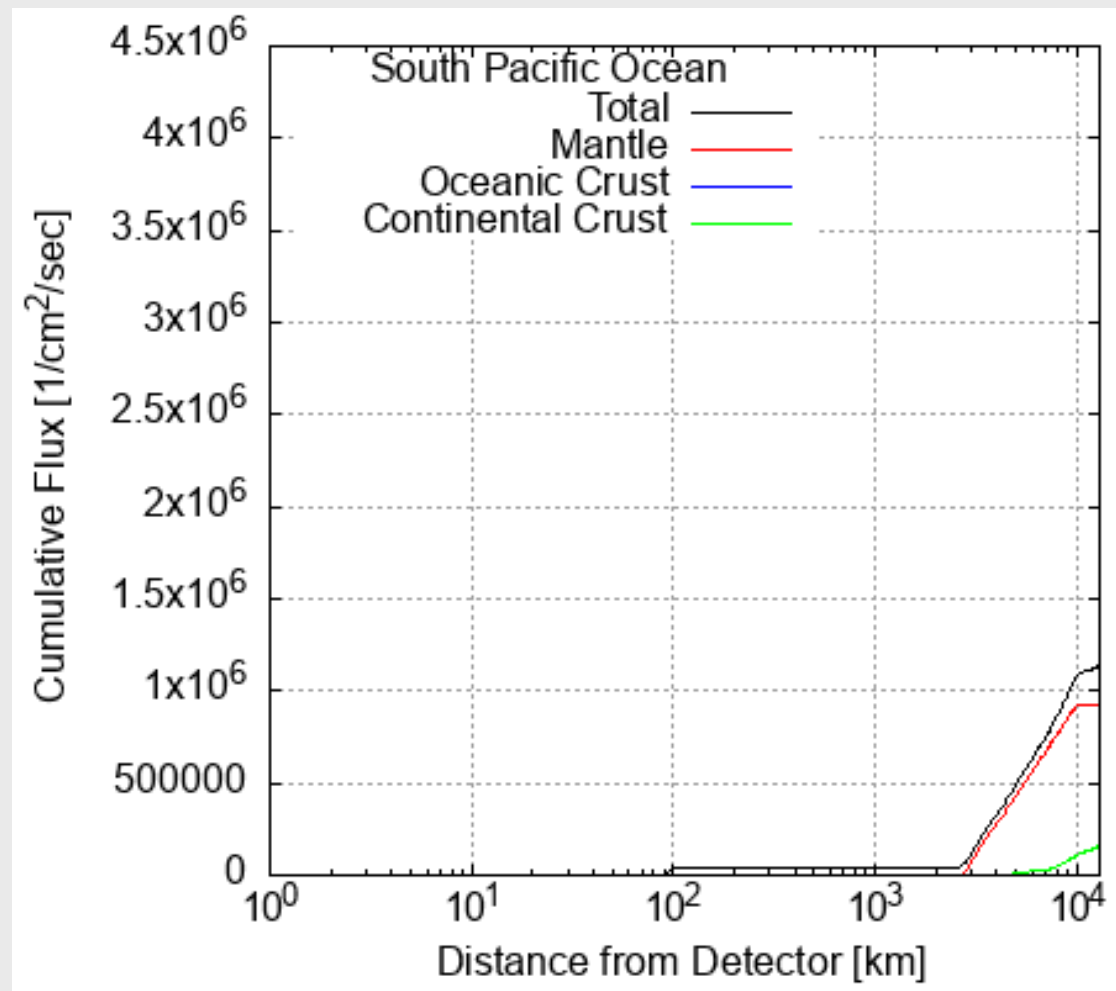
Flux(Kamioka,先行研究(S.Enomoto et al., 2007))に対する相対評価

		Flux / Flux(Kamioka,先行研究)			
U/Th分布	観測サイト	Kamioka	ハワイ	太平洋海底	太平洋海面
先行研究(均一マントル分布)		1.00	0.36		
均一マントル分布		0.92	0.33	0.32	0.31
均一第三大陸分布		0.87	0.27	0.26	0.25
局所的第三大陸分布		0.84	0.38	0.47	0.46

ただし、Flux(Kamioka,先行研究)はKamiokaにおける先行研究のフラックスであり、
 $\text{Flux(Kamioka,先行研究)} = 4.33 \times 10^6 / \text{cm}^2 / \text{sec}$ である。



本研究の均一マントル分布の場合



本研究の均一第三大陸分布の場合

分布変更によるFluxに生じる相対的な変化

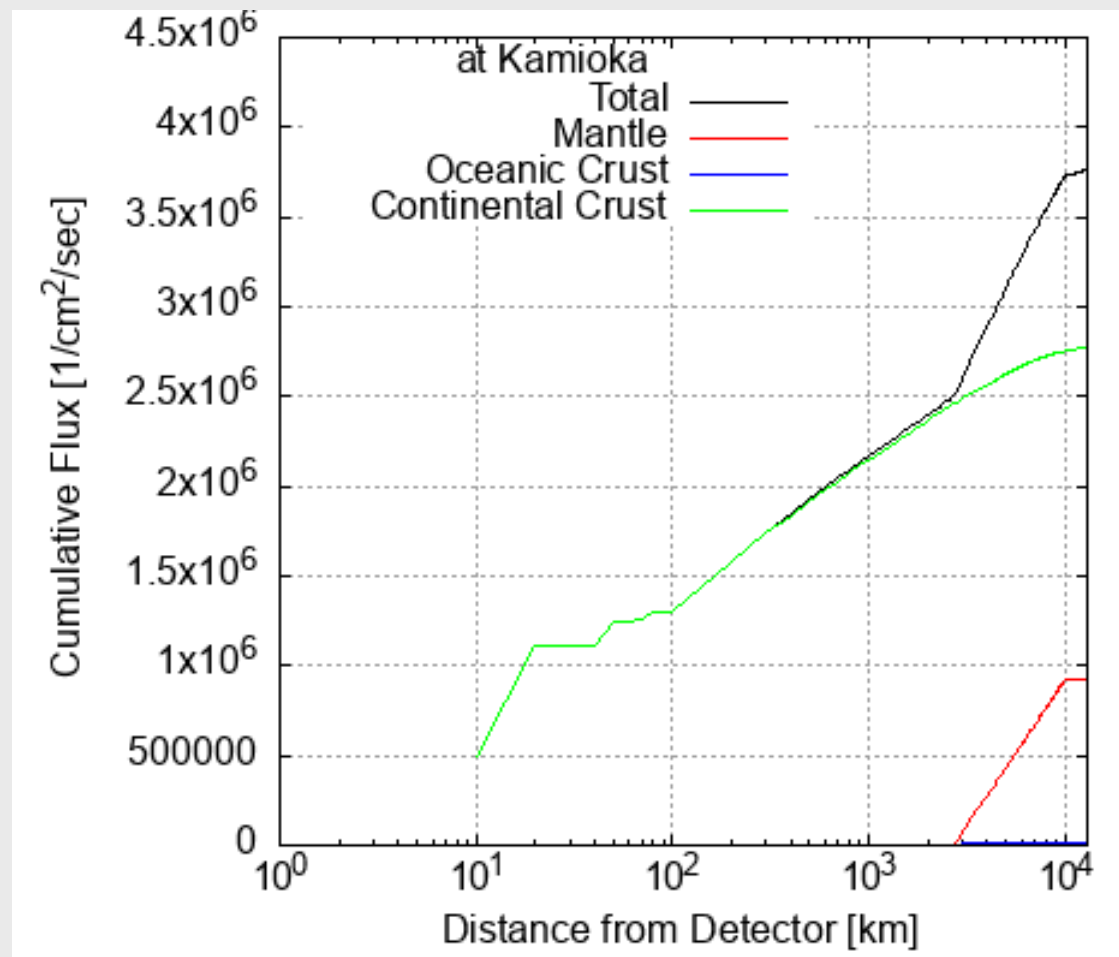
		Flux × 10 ⁶ [1/cm ² /sec]		
U/Th分布	観測サイト	Kamioka	ハワイ	太平洋海底
	均一マントル分布	4.00	1.44	1.39
	均一第三大陸分布	3.76	1.19	1.14
	相対的な変化	-0.06	-0.17	-0.18

KamLANDでは6%しか相対的な変化が生じないのに対して、
ハワイでは17%、南太平洋では18%相対的な変化が生じる。
 これは、大陸地殻の寄与の大きさに起因する。

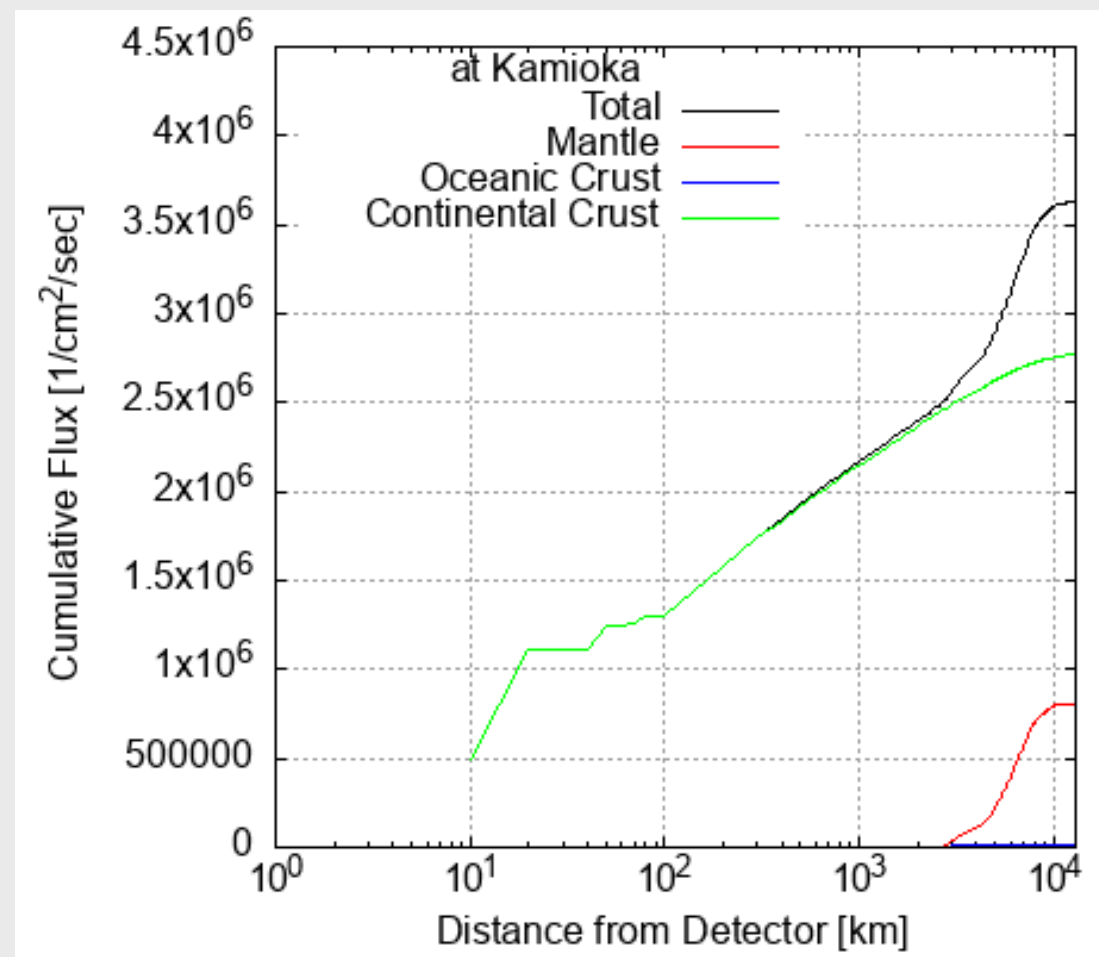
Flux(Kamioka,先行研究(S.Enomoto et al., 2007))に対する相対評価

		Flux / Flux(Kamioka,先行研究)			
観測サイト U/Th分布		Kamioka	ハワイ	太平洋海底	太平洋海面
	先行研究(均一マントル分布)	1.00	0.36		
	均一マントル分布	0.92	0.33	0.32	0.31
	均一第三大陸分布	0.87	0.27	0.26	0.25
	局所的第三大陸分布	0.84	0.38	0.47	0.46

ただし、Flux(Kamioka,先行研究)はKamiokaにおける先行研究のフラックスであり、
 $\text{Flux(Kamioka,先行研究)} = 4.33 \times 10^6 / \text{cm}^2 / \text{sec}$ である。



本研究の均一第三大陸分布の場合

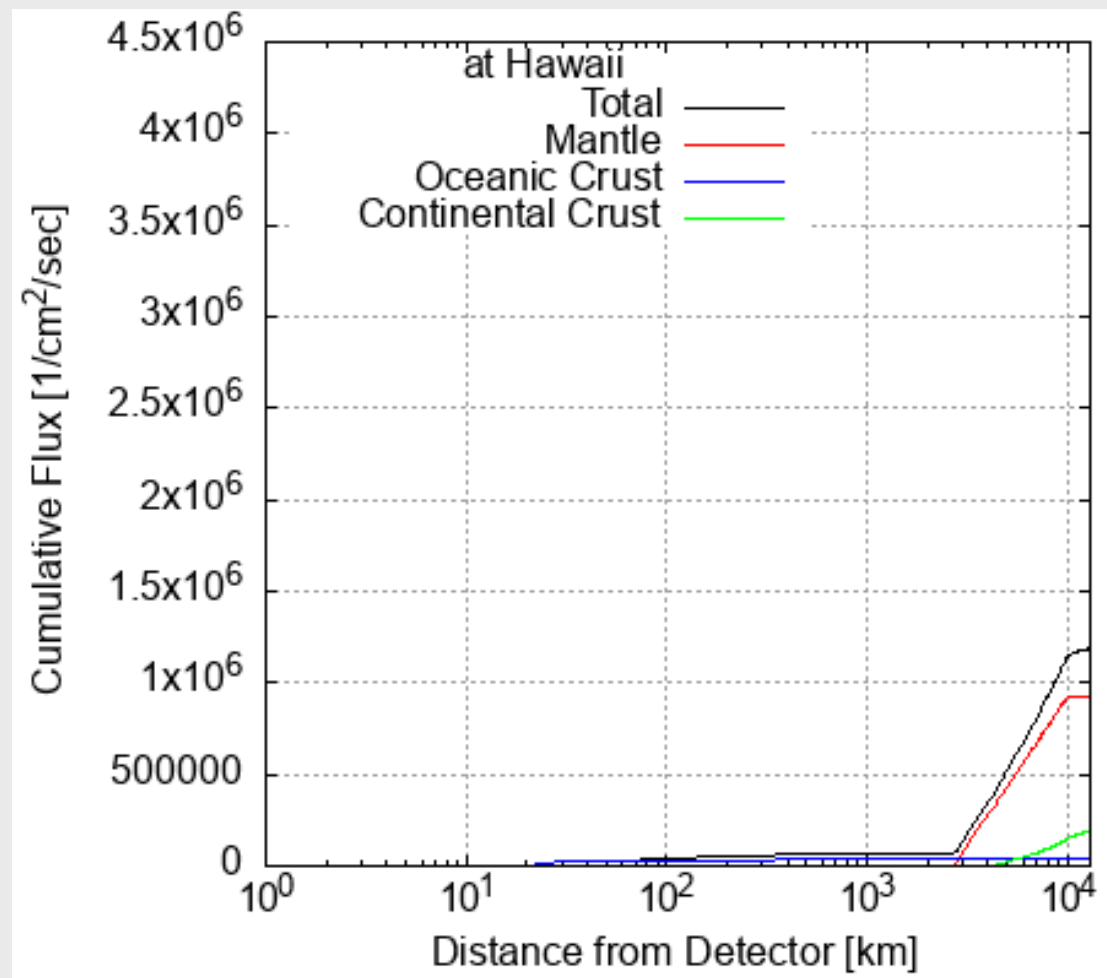


本研究の局所的第三大陸分布の場合

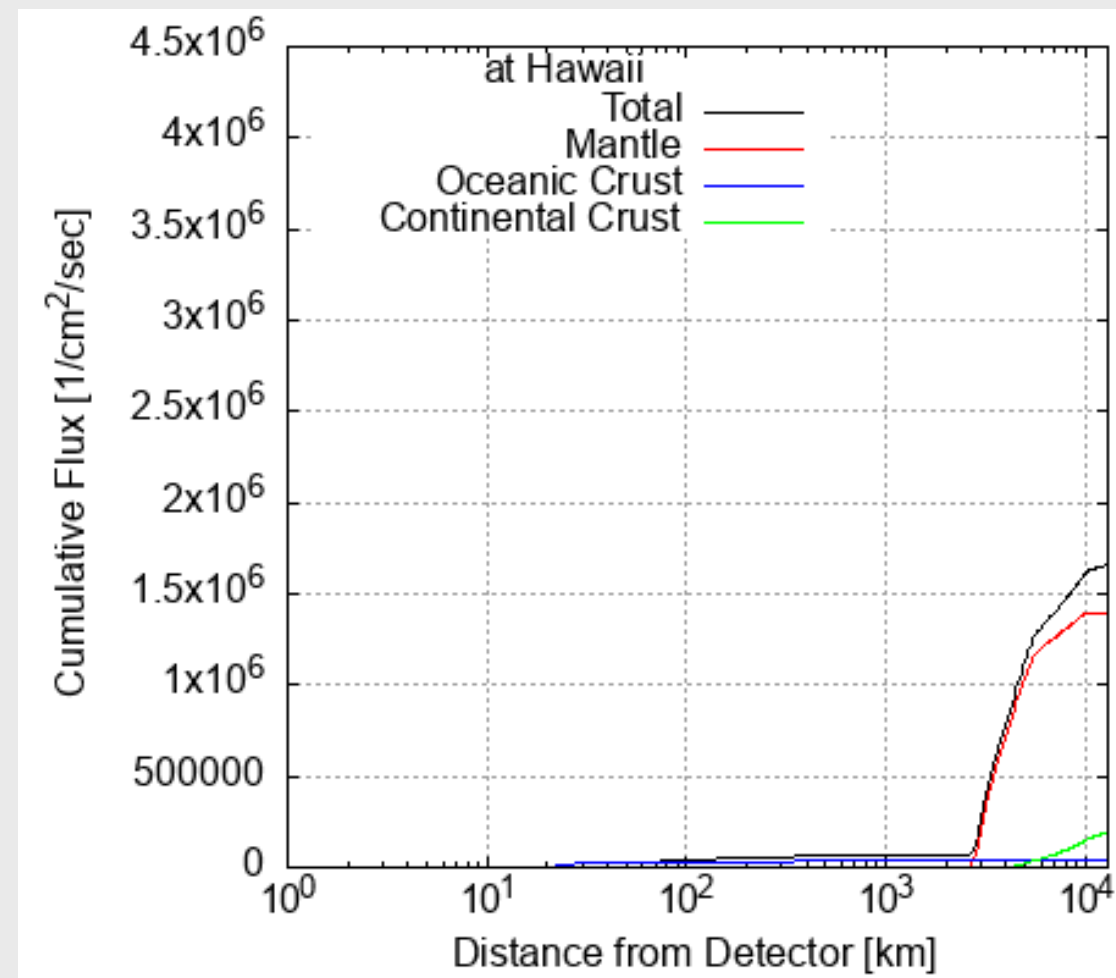
Flux(Kamioka,先行研究(S.Enomoto et al., 2007))に対する相対評価

		Flux / Flux(Kamioka,先行研究)			
U/Th分布	観測サイト	Kamioka	ハワイ	太平洋海底	太平洋海面
先行研究(均一マントル分布)		1.00	0.36		
均一マントル分布		0.92	0.33	0.32	0.31
均一第三大陸分布		0.87	0.27	0.26	0.25
局所的第三大陸分布		0.84	0.38	0.47	0.46

ただし、Flux(Kamioka,先行研究)はKamiokaにおける先行研究のフラックスであり、
 $\text{Flux(Kamioka,先行研究)} = 4.33 \times 10^6 / \text{cm}^2 / \text{sec}$ である。



本研究の均一第三大陸分布の場合

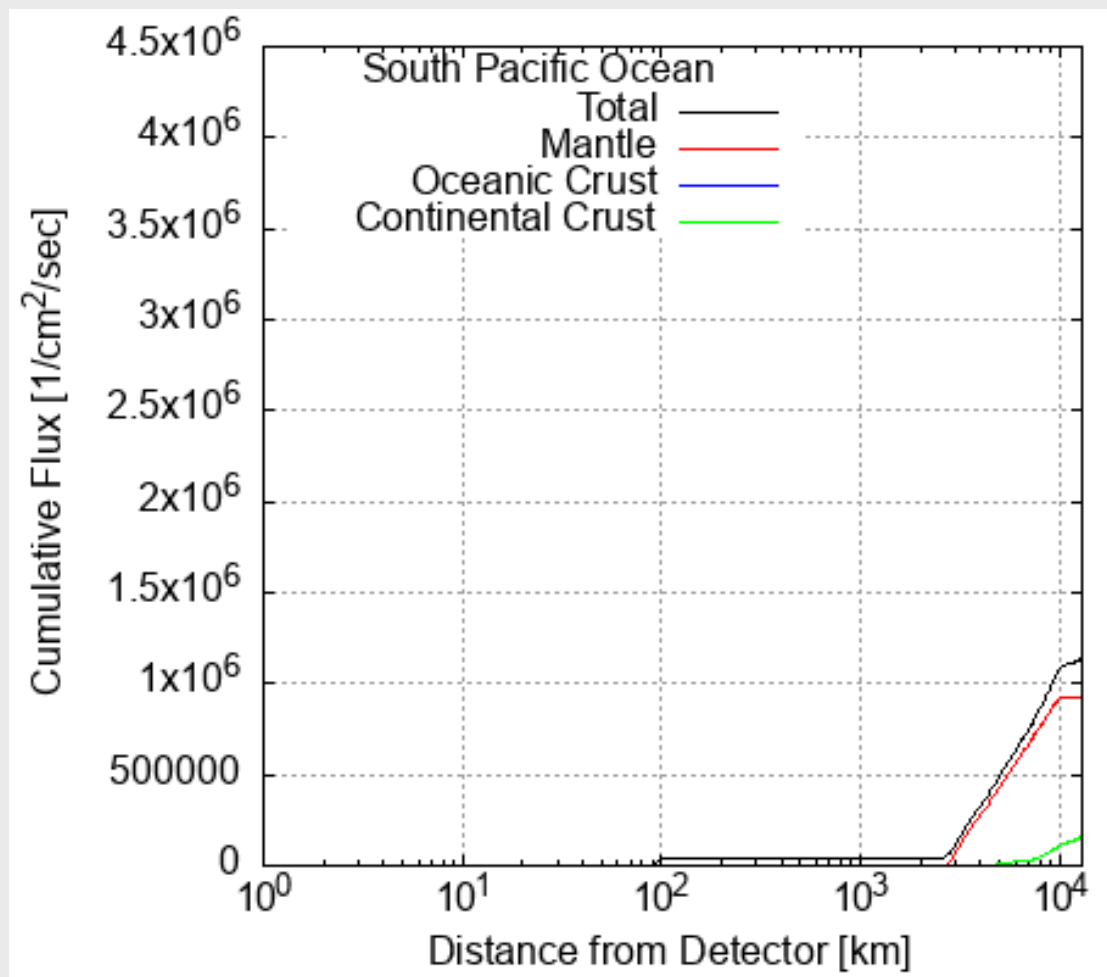


本研究の局所的第三大陸分布の場合

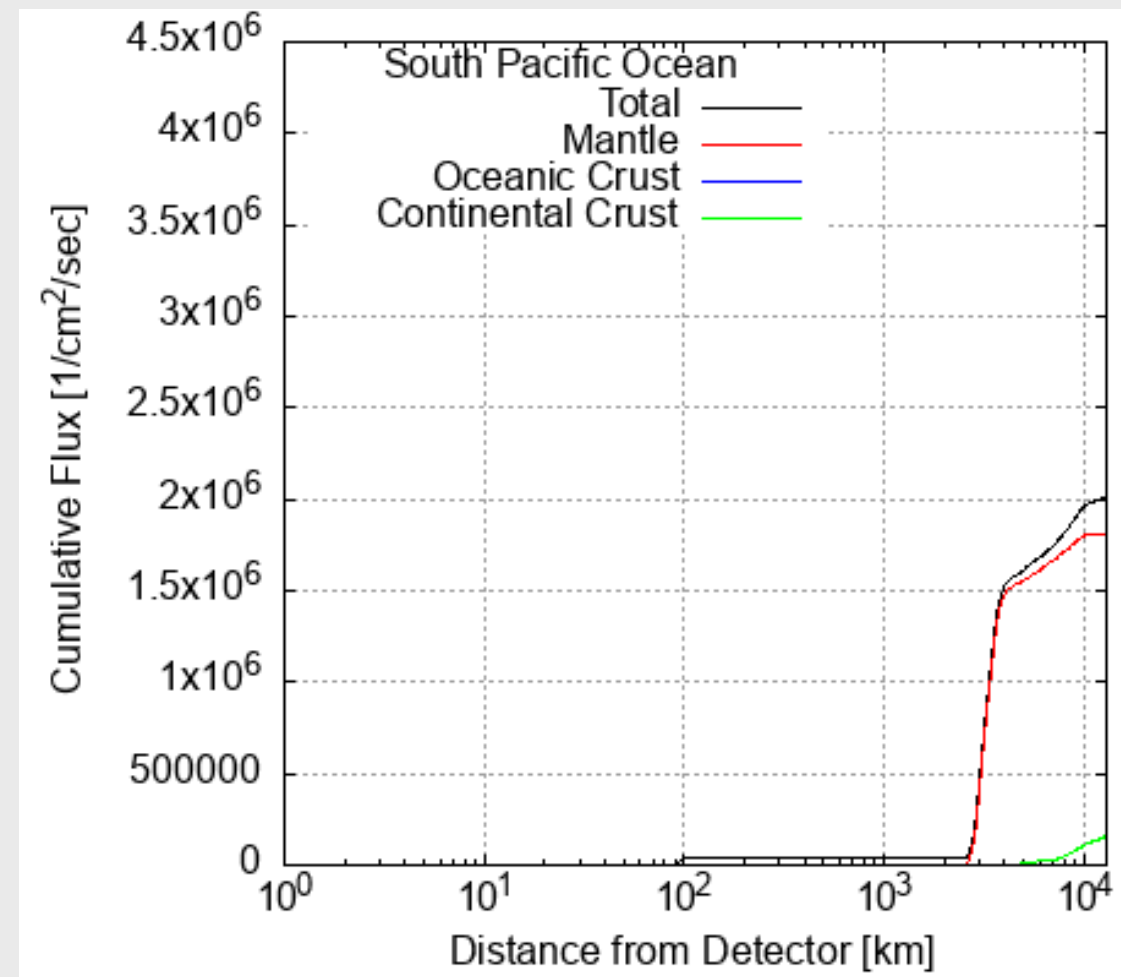
Flux(Kamioka,先行研究(S.Enomoto et al., 2007))に対する相対評価

		Flux / Flux(Kamioka,先行研究)			
観測サイト U/Th分布		Kamioka	ハワイ	太平洋海底	太平洋海面
	先行研究(均一マントル分布)	1.00	0.36		
	均一マントル分布	0.92	0.33	0.32	0.31
	均一第三大陸分布	0.87	0.27	0.26	0.25
	局所的第三大陸分布	0.84	0.38	0.47	0.46

ただし、Flux(Kamioka,先行研究)はKamiokaにおける先行研究のフラックスであり、
 $\text{Flux(Kamioka,先行研究)} = 4.33 \times 10^6 / \text{cm}^2 / \text{sec}$ である。



本研究の均一第三大陸分布の場合



本研究の局所的第三大陸分布の場合

分布変更によるFluxに生じる相対的な変化

		Flux × 10 ⁶ [1/cm ² /sec]		
U/Th分布	観測サイト	Kamioka	ハワイ	太平洋海底
	均一第三大陸分布	3.76	1.19	1.14
	局所的第三大陸分布	3.63	1.66	2.02
	相対的な変化	-0.03	0.39	0.77

KamLANDでは3%微減したのに対して、
ハワイでは39%、太平洋では77%増加している。
 太平洋の過剰領域からの距離に依存して、増減している。

将来の展望

- Detectorの場所を世界各地に置き、フラックスの傾向を調べる
- 中性子星連星の起源となる超新星爆発に伴う超新星背景ニュートリノとの関連について取り組みたい