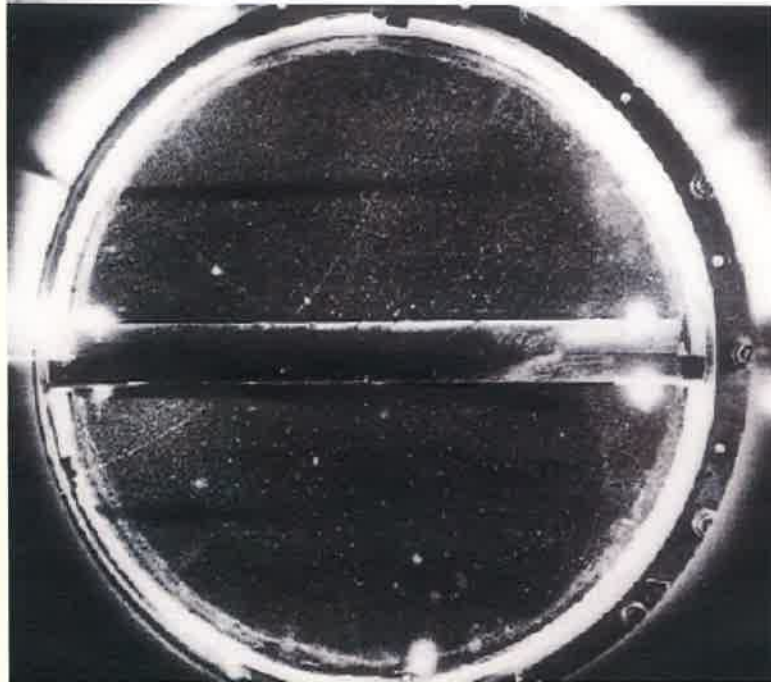


# 宇宙線の発見まで

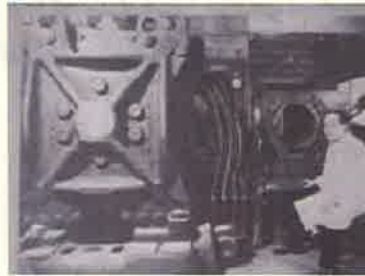
甲南大学  
佐藤文隆

# 宇宙線発見100年にあたって

---我が国における宇宙線研究の始まり---

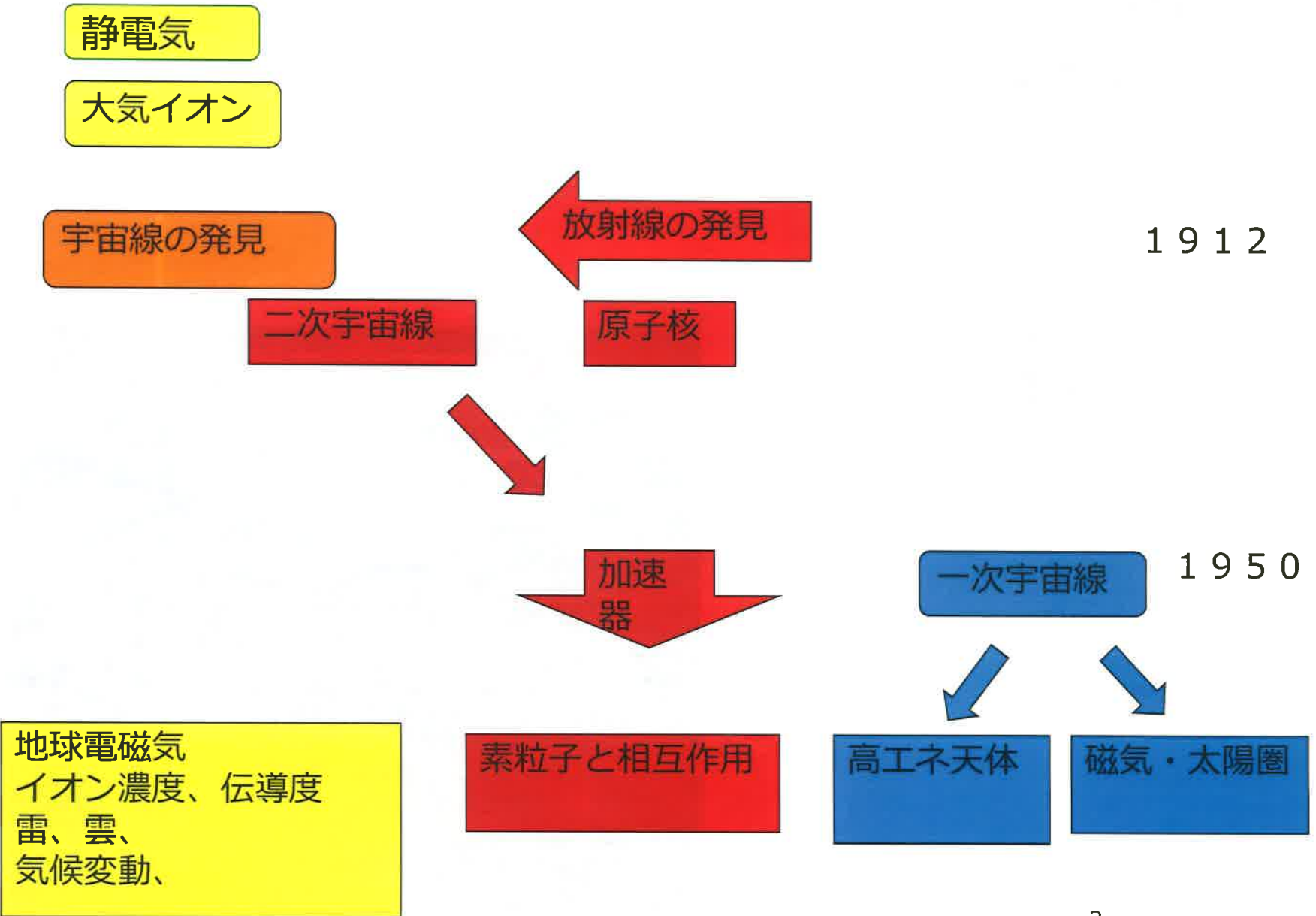


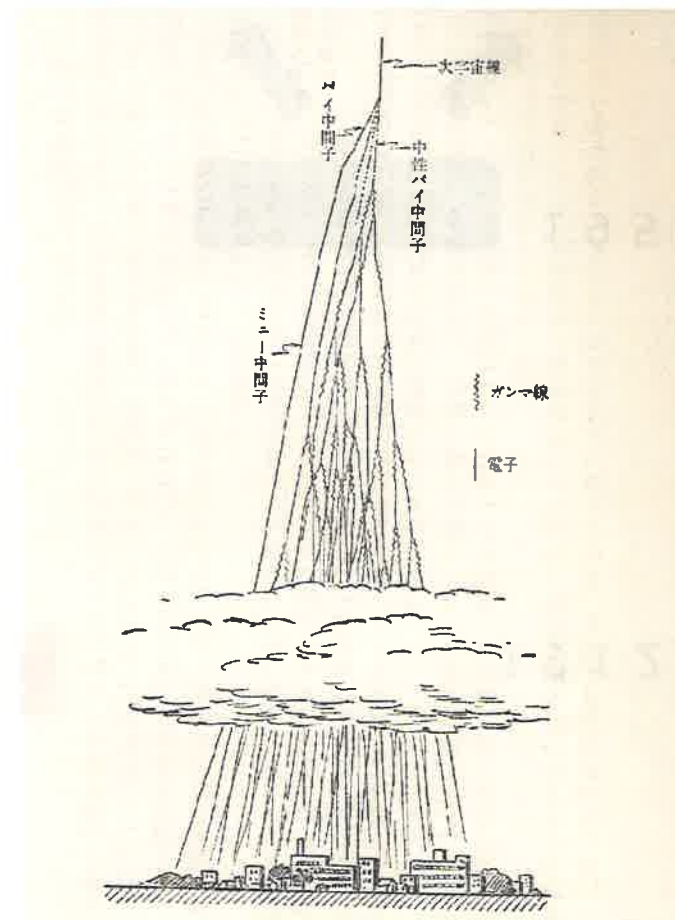
Muon Track 仁科,竹内,一宮 1937



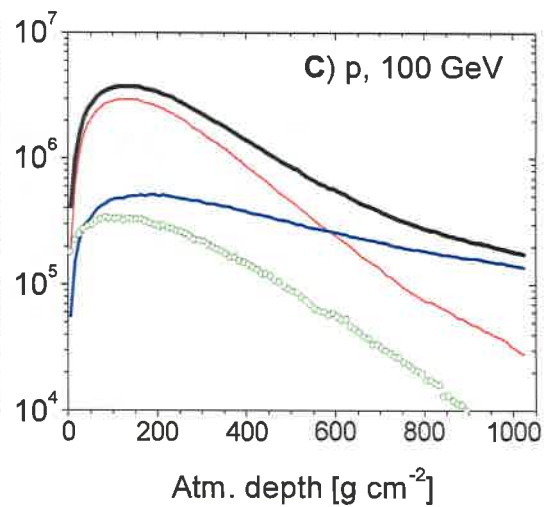
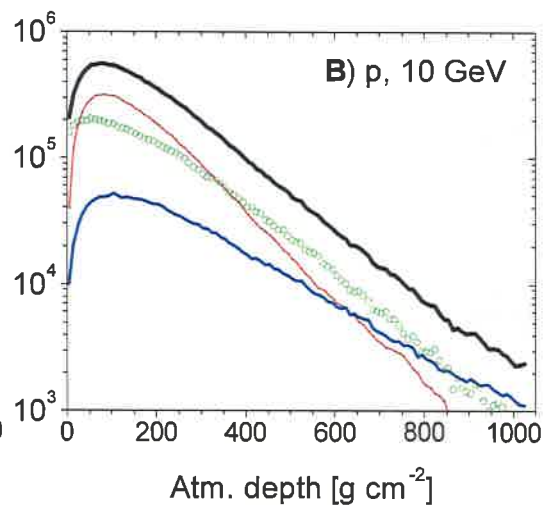
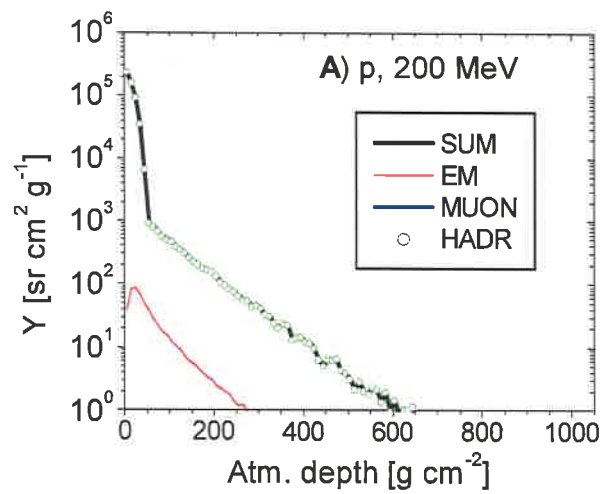
日本物理学会 京都 2012.Sep.12

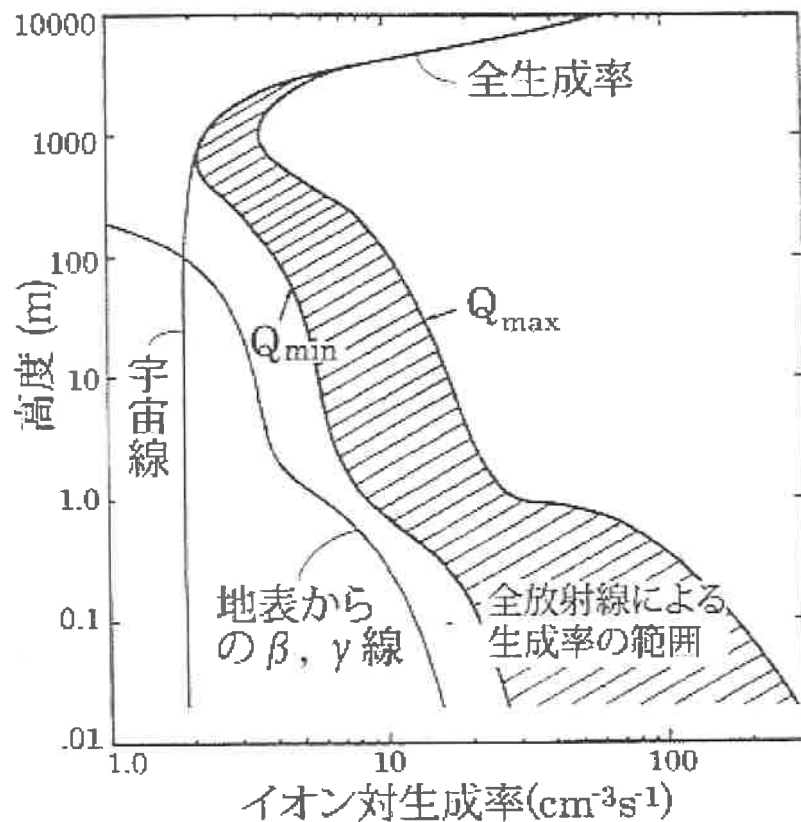
西村 純





「宇宙線の話」 朝永振一郎編  
岩波新書 1960年





地べたでの放射線環境

地殻  
+  
放射性気体  
(地中起源Rn222など  
+  
宇宙線起源C14など)

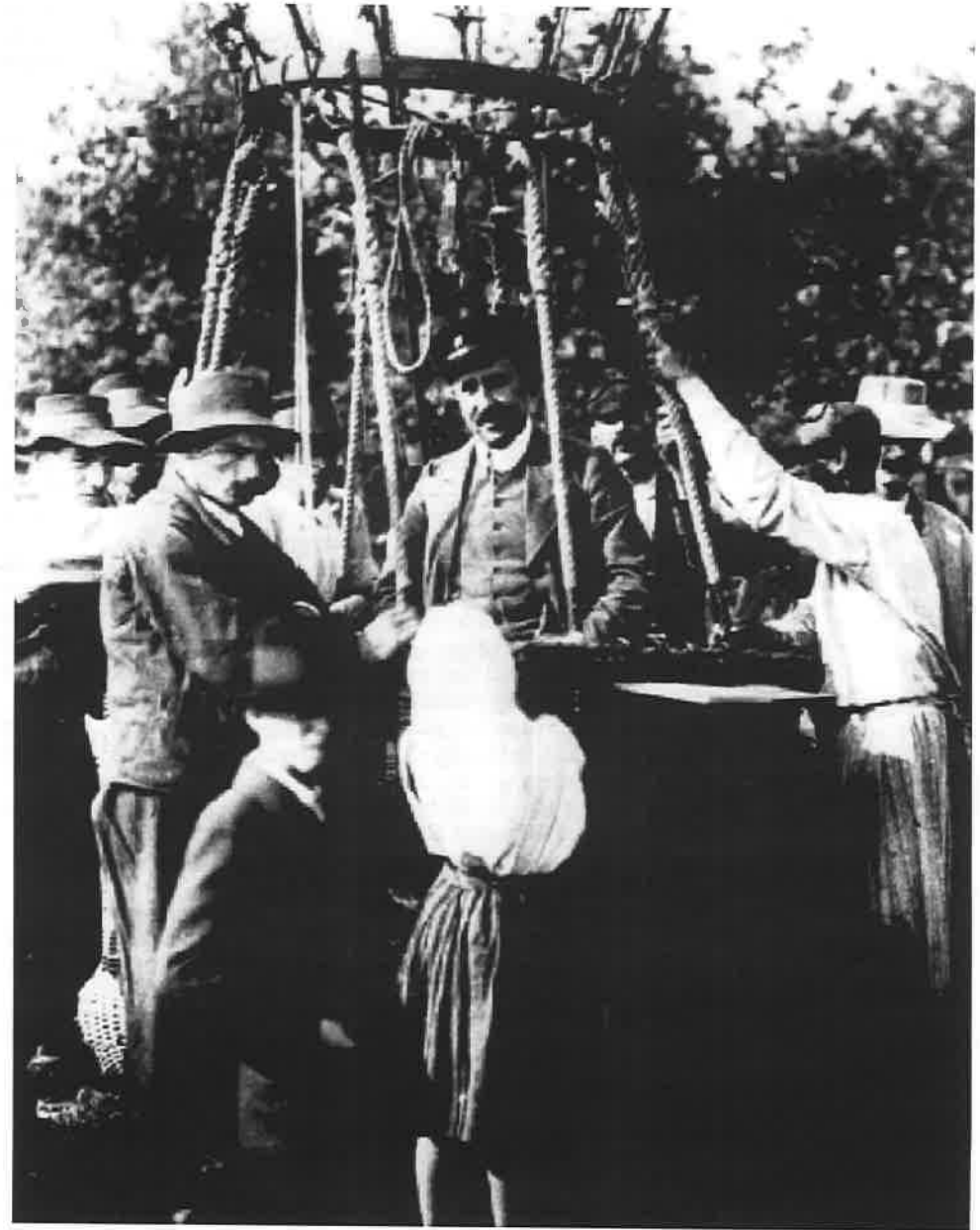
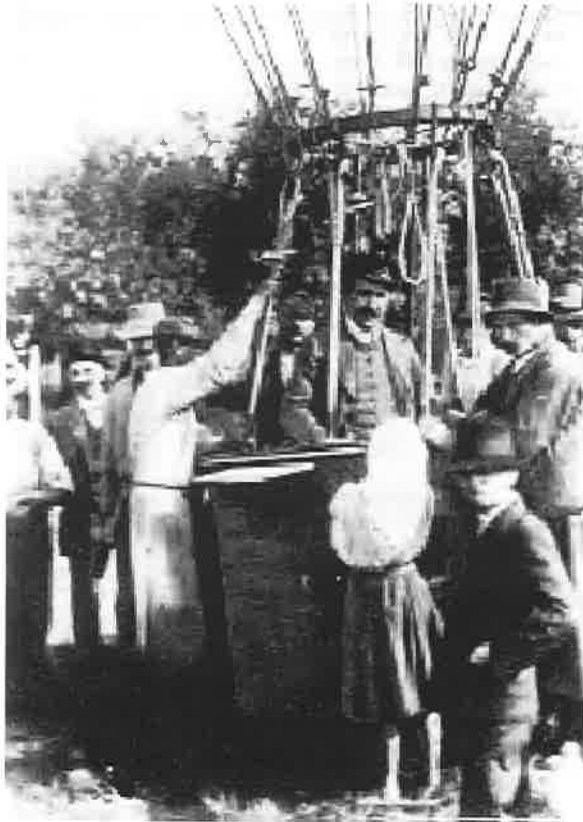
図 2.3 宇宙線・放射線物質によるイオン対生成率 ( $\text{cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ ) の高度分布. 放射線によるイオン対の全生成率は斜線域内 (Hoppel et al., 1986).

ノイズを避けて上空へ

Hess 1911-12

気球観測

1936 Nobel賞





wird sie aber gewiß gerne übernehmen; er hat auch einige meiner früheren Blitzaufnahmen übernommen.

Aus der Abteilung für Geophysik, Meteorologie und Erdmagnetismus:

Viktor F. Hess (Wien), Über Beobachtungen der durchdringenden Strahlung bei sieben Freiballonfahrten.

Im Vorjahre habe ich bereits Gelegenheit gehabt, zwei Ballonfahrten zur Erforschung der durchdringenden Strahlung zu unternehmen; über die erste Fahrt wurde schon auf der Naturforscherversammlung in Karlsruhe von mir berichtet<sup>1)</sup>. Bei beiden Fahrten ergab sich keine wesentliche Änderung der Strahlung gegenüber der am Erdboden beobachteten bis zu 1100 m Höhe. Auch Gockel<sup>2)</sup> hatte bei zwei Ballonfahrten nicht die erwartete Abnahme der Strahlung mit der Höhe finden können. Es wurde daraus der Schluß gezogen, daß außer der  $\gamma$ -Strahlung der radioaktiven Substanzen der Erdrinde noch eine andere Quelle der durchdringenden Strahlung vorhanden sein müsse.

Eine Subvention der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien hat es mir nun ermöglicht, heuer eine Reihe von weiteren sieben Ballonfahrten auszuführen, wobei ein umfangreicheres und in mehrfacher Hinsicht erweitertes Beobachtungsmaterial gewonnen wurde.

Zur Beobachtung der durchdringenden Strahlung dienten in erster Linie zwei Wulfsche Strahlungsapparate von 3 mm Wandstärke, welche vollkommen luftdicht geschlossen und auch allen bei Ballonfahrten vorkommenden Druckschwankungen gewachsen sind.

Apparat 1 hatte einen Ionisationsraum von

ser Behandlung zeigte Apparat 1 eine normale Ionisation von ca. 16 Ionen, Apparat 2 eine solche von ca. 11 Ionen pro ccm und Sek. Die Firma Günther & Tegetmeyer in Braunschweig hat an den Apparaten noch eine weitere wesentliche Verbesserung angebracht: bisher erfolgte die Scharfeinstellung auf die Fäden durch alleiniges Verschieben des Okulars, was mit nicht unbeträchtlichen Änderungen der Vergrößerung verbunden war und bei wiederholter Einstellung Ablesungsdifferenzen bis zu 0,5 bewirkte. Die genannte Firma hat jetzt im Okulartubus eine verschiebbare Negativlinse angebracht, welche die Scharfeinstellung bei verschiedenen Spreizungen der Fäden bewerkstelligt, ohne daß damit eine merkliche Änderung der Vergrößerung verbunden wäre. Die Einstellgenauigkeit ist hierdurch erheblich vergrößert.

Da die Wandstärke bei den Apparaten 1 und 2 drei Millimeter betrug, so konnten im wesentlichen nur die  $\gamma$ -Strahlen wirken.

Zwecks gleichzeitigen Studiums des Verhaltens der  $\beta$ -Strahlen benützte ich noch einen dritten Apparat: dieser war nicht luftdicht gebaut, sondern bestand in einem gewöhnlichen Wulfschen Zweifaden-Elektrometer mit einem daraufgestülpten zylindrischen Ionisationsgefäß von 16,7 Liter Inhalt aus dem dünnsten, im Handel erhältlichen Zinkblech (Wandstärke 0,188 mm), so daß auch weiche Strahlen vom Charakter von  $\beta$ -Strahlen zum Teil noch wirken konnten. Ein auf den Fadenträger des Elektrometers gesetzter Zinkstift von 20 cm Höhe diente als Zerstreungskörper. Die Kapazität betrug 6,57 cm.

Bei den dickwandigen Wulfschen Strahlungsapparaten 1 und 2 geschah die Bestimmung des Isolationsverlustes in bekannter Weise bei herabgelassenem Schutzrohr. Der stündliche Ladungsverlust betrug bei Appa-



wird sie aber gewiß gerne übernehmen; er hat auch einige meiner früheren Blitzaufnahmen übernommen.

Aus der Abteilung für Geophysik, Meteorologie  
und Erdmagnetismus:

Viktor F. Hess (Wien), Über Beobachtungen  
der durchdringenden Strahlung bei sieben  
Freiballonfahrten.

Im Vorjahre habe ich bereits Gelegenheit gehabt, zwei Ballonfahrten zur Erforschung der durchdringenden Strahlung zu unternehmen; über die erste Fahrt wurde schon auf der Naturforscherversammlung in Karlsruhe von mir berichtet<sup>1)</sup>. Bei beiden Fahrten ergab sich keine wesentliche Änderung der Strahlung gegenüber der am Erdboden beobachteten bis zu 1100 m Höhe. Auch Gockel<sup>2)</sup> hatte bei zwei Ballonfahrten nicht die erwartete Abnahme der Strahlung mit der Höhe finden können. Es wurde daraus der Schluß gezogen, daß außer der  $\gamma$ -Strahlung der radioaktiven Substanzen der Erdrinde noch eine andere Quelle der durchdringenden Strahlung vorhanden sein müsse.

Eine Subvention der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien hat es mir nun ermöglicht, heuer eine Reihe von weiteren sieben Ballonfahrten auszuführen, wobei ein umfangreicheres und in mehrfacher Hinsicht erweitertes Beobachtungsmaterial gewonnen wurde.

ser Behandlung zeigte Apparat 1 eine normale Ionisation von ca. 16 Ionen, Apparat 2 eine solche von ca. 11 Ionen pro ccm und Sek. Die Firma Günther & Tegetmeyer in Braunschweig hat an den Apparaten noch eine weitere wesentliche Verbesserung angebracht: bisher erfolgte die Scharfeinstellung auf die Fäden durch alleiniges Verschieben des Okulars, was mit nicht unbeträchtlichen Änderungen der Vergrößerung verbunden war und bei wiederholter Einstellung Ablesungsdifferenzen bis zu 0,5 bewirkte. Die genannte Firma hat jetzt im Okulartubus eine verschiebbare Negativlinse angebracht, welche die Scharfeinstellung bei verschiedenen Spreizungen der Fäden bewerkstelligt, ohne daß damit eine merkliche Änderung der Vergrößerung verbunden wäre. Die Einstellgenauigkeit ist hierdurch erheblich vergrößert.

Da die Wandstärke bei den Apparaten 1 und 2 drei Millimeter betrug, so konnten im wesentlichen nur die  $\gamma$ -Strahlen wirken.

Zwecks gleichzeitigen Studiums des Verhaltens der  $\beta$ -Strahlen benützte ich noch einen dritten Apparat: dieser war nicht luftdicht gebaut, sondern bestand in einem gewöhnlichen Wulfschen Zweifaden-Elektrometer mit einem daraufgestülpten zylindrischen Ionisationsgefäß von 16,7 Liter Inhalt aus dem dünnsten, im Handel erhältlichen Zinkblech (Wandstärke 0,188 mm), so daß auch weiche Strahlen vom Charakter von  $\beta$ -Strahlen zum Teil noch wirken konnten. Ein auf den Fadenträger des Elektrometers gesetzter Zinkstift von 20 cm

Aus der Abteilung für Geophysik, Meteorologie  
und Erdmagnetismus:

**Viktor F. Hess (Wien), Über Beobachtungen  
der durchdringenden Strahlung bei sieben  
Freiballonfahrten.**

Im Vorjahre habe ich bereits Gelegenheit gehabt, zwei Ballonfahrten zur Erforschung der durchdringenden Strahlung zu unternehmen; über die erste Fahrt wurde schon auf der Naturforscherversammlung in Karlsruhe von mir berichtet<sup>1)</sup>. Bei beiden Fahrten ergab sich keine wesentliche Änderung der Strahlung gegenüber der am Erdboden beobachteten bis zu 1100 m Höhe. Auch Gockel<sup>2)</sup> hatte bei zwei Ballonfahrten nicht die erwartete Abnahme der Strahlung mit der Höhe finden können. Es wurde daraus der Schluß gezogen, daß außer der  $\gamma$  Strahlung der radioaktiven Substanzen der Erdoberfläche noch eine andere Quelle der durchdringenden Strahlung vorhanden sein müsse.

Eine Subvention der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien hat es mir nun ermöglicht, heuer eine Reihe von weiteren sieben Ballonfahrten auszuführen, wobei ein umfangreicheres und in mehrfacher Hinsicht erweitertes Beobachtungsmaterial gewonnen wurde.

1912

4月-17 皆既日食

4月-26-27, 5月-20, 6月-3, -19, -28, 8月-7

7. Fahrt (7. August 1912).

Ballon: „Böhmen“ (1680 cbm Wasserstoff).  
 Meteorolog. Beobachter: E. Wolf.

Führer: Hauptmann W. Hoffory.  
 Luftelektr. Beobachter: V. F. Hess.

Nr.	Zeit	Mittlere Höhe		Beobachtete Strahlung				Temp.	Relat. Feucht. Proz.
		absolut m	relativ m	Apparat 1		Apparat 3			
				$q_1$	$q_2$	$q_3$	reduz. $q_3$		
1	15h 15—16h 15	156	0	17,3	12,9	—	—	} 1½ Tag vor dem Aufstiege (in Wien)	
2	16h 15—17h 15	156	0	15,9	11,0	18,4	18,4		
3	17h 15—18h 15	156	0	15,8	11,2	17,5	17,5		
4	6h 45—7h 45	1700	1400	15,8	14,4	21,1	25,3	+6,4 <sup>0</sup>	60
5	7h 45—8h 45	2750	2500	17,3	12,3	22,5	31,2	+1,4 <sup>0</sup>	41
6	8h 45—9h 45	3850	3600	19,8	16,5	21,8	35,2	-6,8 <sup>0</sup>	64
7	9h 45—10h 45	4800	4700	40,7	31,8	—	—	-9,5 <sup>0</sup>	40
		(4400—5350)		—	—	—	—	—	—
8	10h 45—11h 15	4400	4200	28,1	22,7	—	—	—	—
9	11h 15—11h 45	1500	1200	(9,7)	11,5	—	—	—	—
10	11h 45—12h 10	250	150	11,9	10,7	—	—	+16,0 <sup>0</sup>	68
11	12h 25—13h 12	140	0	15,0	11,6	—	—	(nach der Landung in Pieskow, Brandenburg)	

q ions/ccm/sec

2. Fahrt (26.—27. April 1912).

Ballon: „Excelsior“ (1600 cbm Leuchtgas).

Führer: Hauptmann W. Hoffory.  
Beobachter: V. F. Hess.

Nr.	Zeit	Mittlere Höhe		Beobachtete Strahlung				
		absolut m	relativ m	Apparat 1	Apparat 2	Apparat 3		
				$\varrho_1$	$\varrho_2$	$\varrho_3$	$\varrho_3$ (reduz.)	
1	16h 40—17h 40	156	0	15,6	11,5	—	—	} vor dem Aufstieg am Klub- platz (Wien)
2	17h 40—18h 40	156	0	18,7	11,8	21,0	21,0	
3	18h 40—21h —	156	0	17,8	11,6	19,5	19,5	
4	21h 30—22h 30	156	0	17,8	11,3	20,0	20,0	
5	23h 26—0h 26	300	140	14,4	9,6	19,4	19,8	
6	0h 26—1h 26	350	190	16,2	9,9	17,4	17,9	
7	1h 26—2h 26	300	140	14,4	10,1	17,7	18,1	
8	2h 26—3h 32	330	160	15,0	9,6	18,2	18,7	
9	3h 32—4h 32	320	150	14,4	9,8	18,5	19,0	
10	4h 32—5h 35	300	70	17,2	13,2	20,6	21,0	
11	5h 35—6h 35	340	240	17,8	11,8	19,6	20,8	
12	6h 35—7h 35	1050	800	17,6	10,0	18,1	20,3	
13	7h 35—8h 35	1400	1200	12,2	8,8	17,3	20,3	
14	8h 35—9h 35	1800	1600	17,5	10,9	17,3	21,3	

Tabelle der Mittelwerte.

Mittlere Höhe über dem Erdboden m	Beobachtete Strahlung in Ionen pro cem und sec.			
	Apparat 1	Apparat 2	Apparat 3	
	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$ (reduziert)	$Q_3$ (nicht reduziert)
0	16,3 (18)	11,8 (20)	19,6 (9)	19,7 (9)
bis 200	15,4 (13)	11,1 (12)	19,1 (8)	18,5 (8)
200—500	15,5 (6)	10,4 (6)	18,8 (5)	17,7 (5)
500—1000	15,6 (3)	10,3 (4)	20,8 (2)	18,5 (2)
1000—2000	15,9 (7)	12,1 (8)	22,2 (4)	18,7 (4)
2000—3000	17,3 (1)	13,3 (1)	31,2 (1)	22,5 (1)
3000—4000	19,8 (1)	16,5 (1)	35,2 (1)	21,8 (1)
4000—5200	34,4 (2)	27,2 (2)	—	—

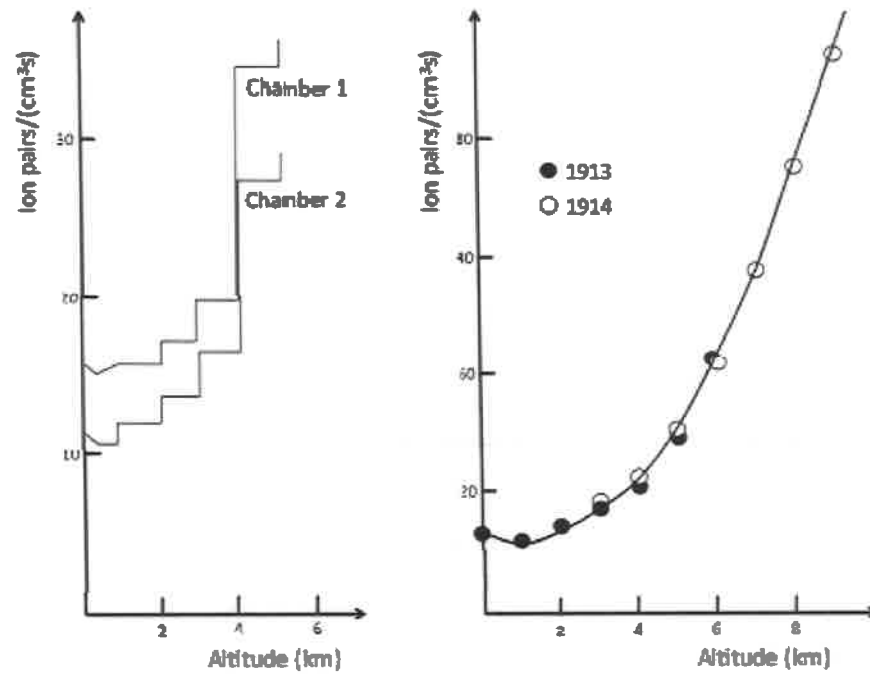


Fig. 4. - Variation of ionization with altitude. Left panel: Final ascent by Hess (1912), carrying two ion chambers (chamber 2 was shielded with thicker walls). Right panel: Ascents by Kolhörster (1913, 1914).

- 1785 deCoulomb 逃電 漏電 放電
- 1835 Farady イオン
- 1879 Crookes 放電の速さ vs 圧力 空気が原因
- 1888 Exner, Elster -Geitel, 密閉, 携帯検電器、多地域、継続観測
- 1895-6 Rontogen, Becquere, Marie and Pierre Curie X線、放射線
- 1900 Wilson 人工、自然電離？
- 1903 Rutherford -Cook, McLennan-Burton, 飽和電流、シールド
- 1909 Kurz、Cline、..... 太陽、地殻, 地球外？
- 1909 Theodor Wulf (Jesuit priest) エッフェル塔( 300m)  
+Gockel Wulf-type 検電器
- 1910-11 Alfred Gockel 気球観測(12月, スイス) 1300m
- 1911-13 Domenico Pacini(イタリア) 水中
- 1911-13 Victor Hess  
気球観測 10回(2,7,1) 5,350m  
Eveの吸収効果のチェック
- 1913-14 Kolhorster 気球観測 9200m 2個、5回
- 1914-19 世界大戦 -I

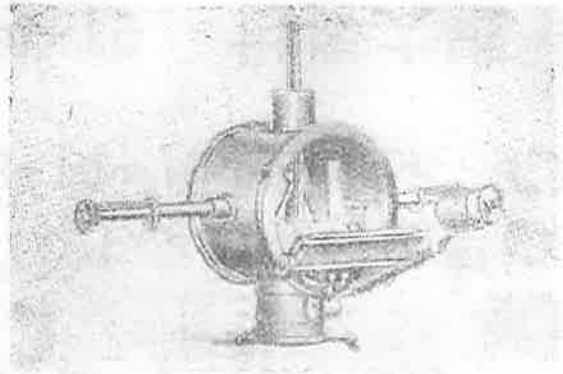


# 関戸 彌太郎 「宇宙線」 一九四四年発行

第一話 宇宙線の発見とその母胎

一八

その頃、ウキンの大業に、フランツ・エクスナーといふ氣象學の大家がゐるが、空中電氣學の發達の爲には、世界中に觀測網を設けることが大事であると考へ、輕便な電氣計を考案して、熱心に多くの人に觀測を奨めたのであつた(第八圖)。ウオルヘンビュッテルのエルスターとガイテ

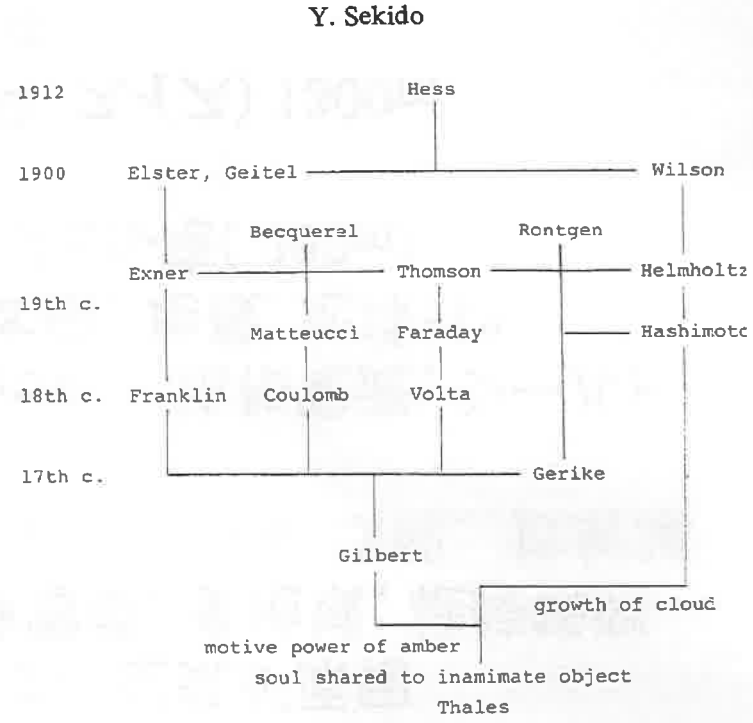


第8圖 エクスナーの電氣計

ルも彼に刺戟を受け、一八八八年(明治二十一年)頃から空中電氣の研究を始めた。

大氣の電導性といふことは、昔クローンが行つた逃電の研究以來の問題である。そして、帶電物を大氣中に出して置く時、それから電氣が大氣中へ逸散する速度は、帶電物の現在ある電氣の量に比例する(更に一般的に言へば、帶電物の電壓に比例する)、といふこともクローン以來の常識となつてゐた。ところが、一八九六年のトムソンとラザフォードとの研究によれば、氣體内で電氣がイオンによつて運ばれる時は、電氣の流れる流量(電流)がどこまでも電壓に比例してふえるものではなく、

遂には或る一定の「飽和電流」に達することが示された。又その後のウイルソンの研究によると、X線や何かをあてない、たゞの空氣中にも、常にイオンが存在してゐるらしいことが知られた。



1887、 **Franz Exner**、Wien Univ 教授、学長  
President of the Austrian Academy of Science

空気イオン検出用の携帯用検電器開発  
標準化のために各地に配る

放射線発見後はその検出器に



**Modified Exner Electroscopes (ca. 1910 - 1920)**

# Theodor Wulf 1868–1946

ドイツ生まれ  
 Gottingen Univ. under Nernst  
 教授、聖職者  
 St Ignatius College  
 in Valkenburg, オランダ



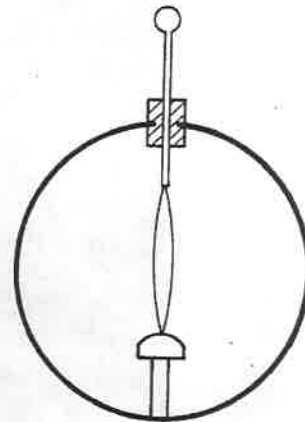
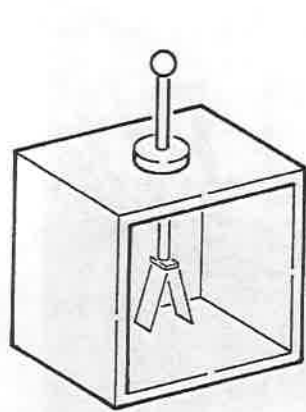
Central Europe in 1912–13.

Hess' birth place: near Graz. Balloon launch place (1912): Wien, Aussig near Prag. Station network (1913): Graz (Benndorf), Davos (Dorno), Wien (Hess), Innsbruck (v. Schweidler), Valkenburg (Wulf).

Datum	Ort	Ionen ccm sec
28. März	Valkenburg . . . . .	22,5
29. "	Paris, Boden . . . . .	17,5
30. "	" Eiffelturm . . . . .	16,2
31. "	" " . . . . .	14,4
1. April	" " . . . . .	15,0
2. "	" " . . . . .	17,7
3. "	" Boden . . . . .	18,3
4. "	Valkenburg . . . . .	22,0

1909  
 64 / 10

Hess が用いたWulf-検電器



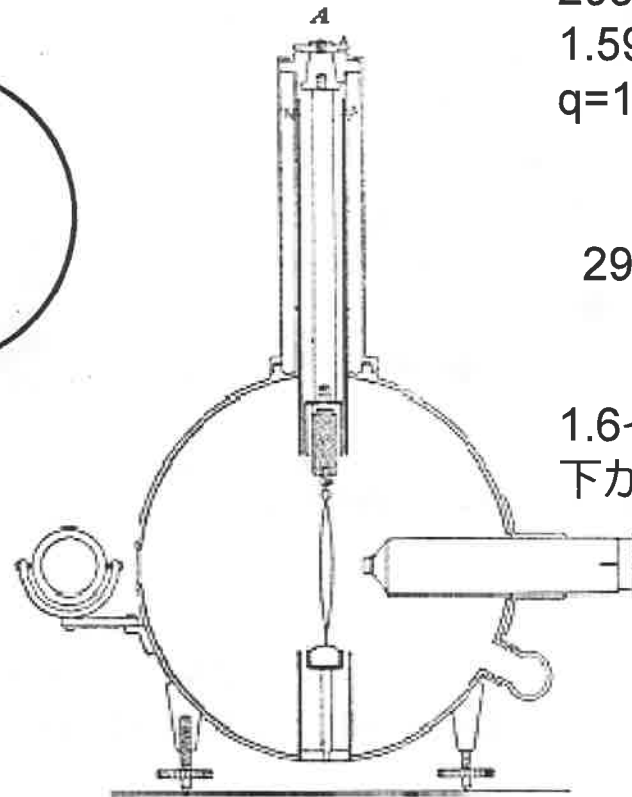
Quartz thread  
coated with  
platinum

左手に照射用鏡

A を回して最大間隔

Sodium を下に入れて

湿気取り



Wulf electroscope of 3mm

ionization space

2039ccm, capacity

1.597cm

$q=1.56$  ion/ccm/sec

2970ccm

1.6イオン対でtensionが1V  
下がる

Fig. 1. - The Wulf electroscope. The 17 cm diameter cylinder with depth 13 cm was made of Zinc. To the right is the microscope that measured the distance between the two silicon glass wires illuminated using the mirror to the left. The air was kept dry using Sodium in the small container below the microscope. According to Wulf [30], with 1.6 ion pairs per second produced, the tension was reduced by 1 V, the sensitivity of the instrument, as measured by the decrease of the inter-wire distance.

# Albert Gockel(1860-1927)

Heiderburg Univ

スイス Friburg Univ, 1903,1910教授

シンプントネル、ツエルマツト、ユングフラウ、ボーデン湖、ローとホルン  
一部、Wulf と一緒

1909-12-11 スイスAeroclub 国際Balloon祭 at Zurich

1910 論文「気球飛行での空気電気観測」

1911-4-2

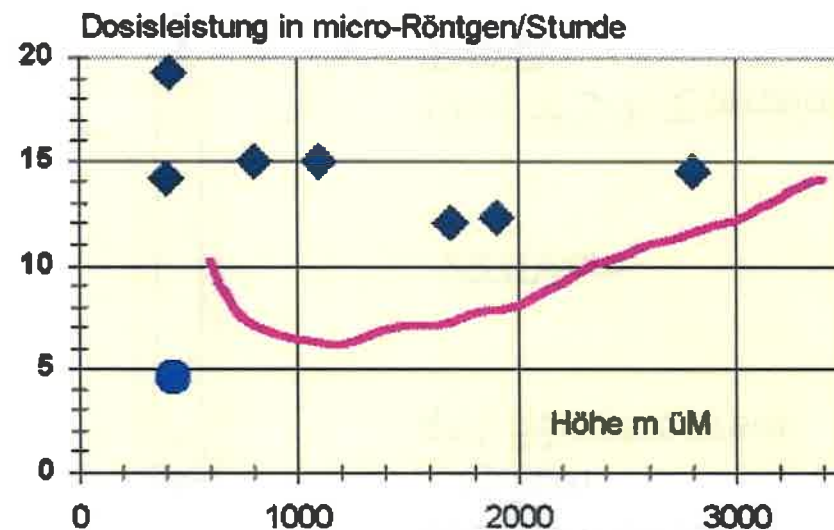
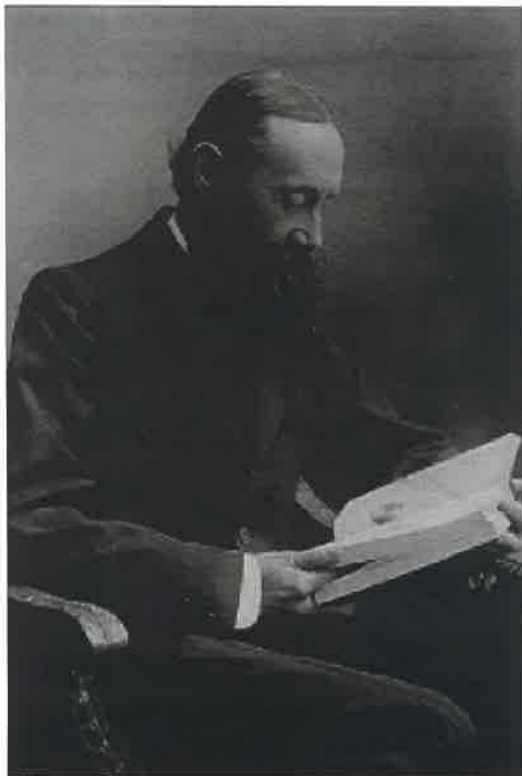


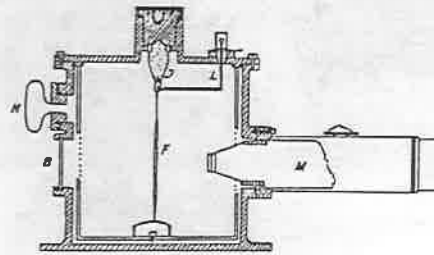
Abb. 2: Messwerte der ersten Ballonfahrt von Albert Gockel von 1910 (\*), umgerechnet in micro-R/h in Funktion der Höhe, verglichen mit Messungen (---) mit einer Argon-gefüllten Hochdruckionisationskammer vom Typ Reuter Stokes über der Stadt Freiburg (ca. 600 m ü M) [aus 9]. Eine zusätzliche Messung wurde auf dem Neuenburgersee vorgenommen (\*) (429m ü M), (terrestrische Strahlungsanteile durch das Wasser abgeschirmt).



1960  
69歳

on August 16<sup>th</sup>, 1952

Victor F. Hess



V. F. Hess, discoverer of cosmic rays, looking through the telescope of his ion chamber used for his discovery of cosmic rays in 1912. Design of chamber: from *Physikal. Z.* 1135 (1913).

<Ed> Displaced from p. 14, Fig. 9, contributed by Y. Sekido.





## Werner Heinrich Gustav Kohlhorster(1887-1946)



Dr. Werner Kohlhorster im Jahre 1912.



1887-12-28 Schwiebus で生まれる  
Hall Univ under E.Don

1913 気球観測 3回 26歳  
3600m,4000m,6000m以上

1914 Davos の測候所職員、開戦でために  
兵隊の間、ボスポラス海峡で大気電気測定  
兵役後、しばらく教師

1922 PTR

1930 Potsdam Univ  
Bothe-Kohlhorster GM管  
気球観測 10000m

1935 地球物理観測所  
Insti. Fur Hohenstrahlung in Berlin, 教授

1946-8-5 Munich 自動車事故で死

## Kohlhörster - balloon flight 13. May 1934



Abb. 18 Masuch

高度 ~70km

From the Talk by Hörandel at Denver meeting , 2012, July.

1911-13 Domenico Pacini under water



A. De Angelis,  
arXiv:1103.4392v1[physcs.  
hist-ph]

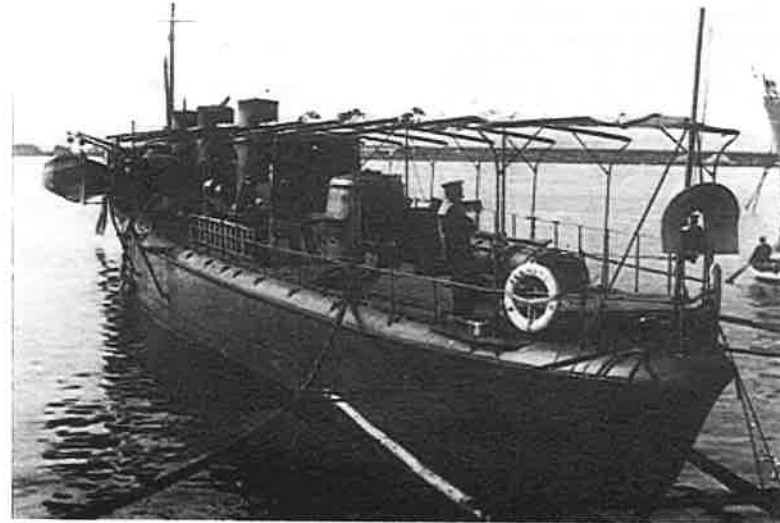


Fig. 2. – The cacciatorpediniere “Fulmine”, used by Pacini for his measurements on the sea.

### 1909 Wulf

Datum	Ort	Ionen ccm sec
28. März	Valkenburg . . . . .	22,5
29. "	Paris, Boden . . . . .	17,5
30. "	" Eiffelturm . . . . .	16,2
31. "	" " . . . . .	14,4
1. April	" " . . . . .	15,0
2. "	" " . . . . .	17,2
3. "	" Boden . . . . .	18,3
4. "	Valkenburg . . . . .	22,0

### 1910-11 Gockel

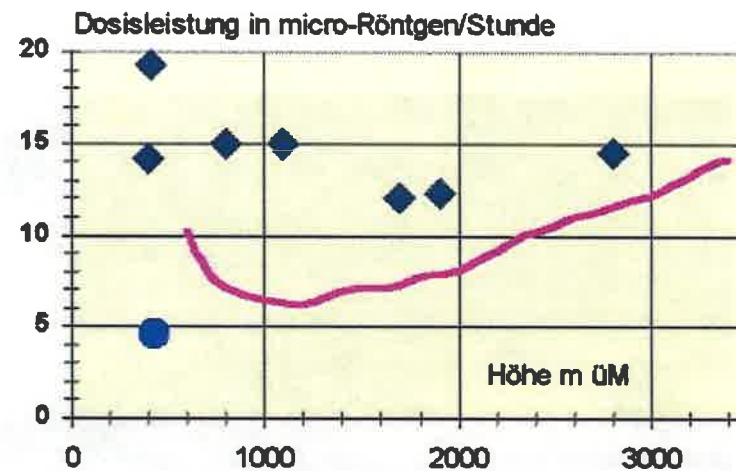
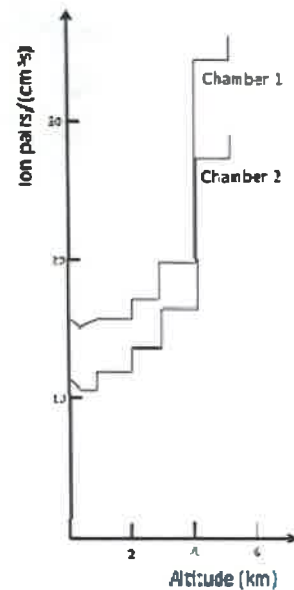
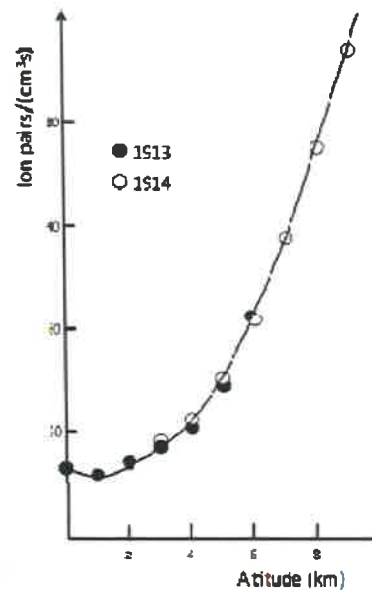


Abb. 2: Messwerte der ersten Ballonfahrt von Albert Gockel von 1910 (♦),  
 r Höhe, verglichen mit Messungen (---) mit  
 rskammer vom Typ Reuter Stokes über der  
 eine zusätzliche Messung wurde auf dem  
 n ü M), (terrestrische Strahlungsanteile

### 1911-12 Hess



### 1913-14 Kohlhorster



# 58回ドイツ科学及び製薬(Arzte)大会 ウィーン大会 1913-9-22---25

von Welsbach 化学工業で成功、ウィーン郊外に工場、開発センター、産学協同、ウィーン大学の実験環境向上、Exner スペクトル分析

物理 6 session

月曜 光電効果

火曜午前 アインシュタイン講演 数学、天文と合同

火曜午後 放射線

Geiger(英国から帰国)

Hess 「Raからのガンマ線の絶対測定」、Wulf型の改良

T. Wulf 「大気高透過線の各地での同時測定」

Benndorf-Veith(Gratz), Dorno(Davos), Hess-Kofler(Wien),  
Kruse(Innsbruck), Wulf(Valkenburg)

Hess

1911 Karlsruhe 秋学会

1912 Munster 秋学会、第一論文

1913-6月 Über den Ursprung der Durchdringenden Strahlung、第二論文

1913-6-1 気球提供あり、4050,4000mから急上昇、シュレーディングの式  
合わない

1911–13 Victor Hess

ten balloon flights(2,7,1) 5,350m

improve the Eve's result on absorption

1913–14 Kohlhorster 9200m

1914–19 World War -I

1923 Kohlhorster, on mountain

1923 Millikan-Bowen ,

unmanned balloon, 15,000 m at Texas ,  $\frac{1}{4}$  of Europ, geomagneticity

1926 Millikan-Cameron, lake, mountain, gamma-ray,

Cosmic Rays, [ Hohenstrahlung, ultrastrahlung, ultra-X-strahlung ]

“Birth cries of atom” popular in US media

1928 Clay, on ship from Java and Genova

· Bothe-Kohlhorster, using Geiger-Muller counter

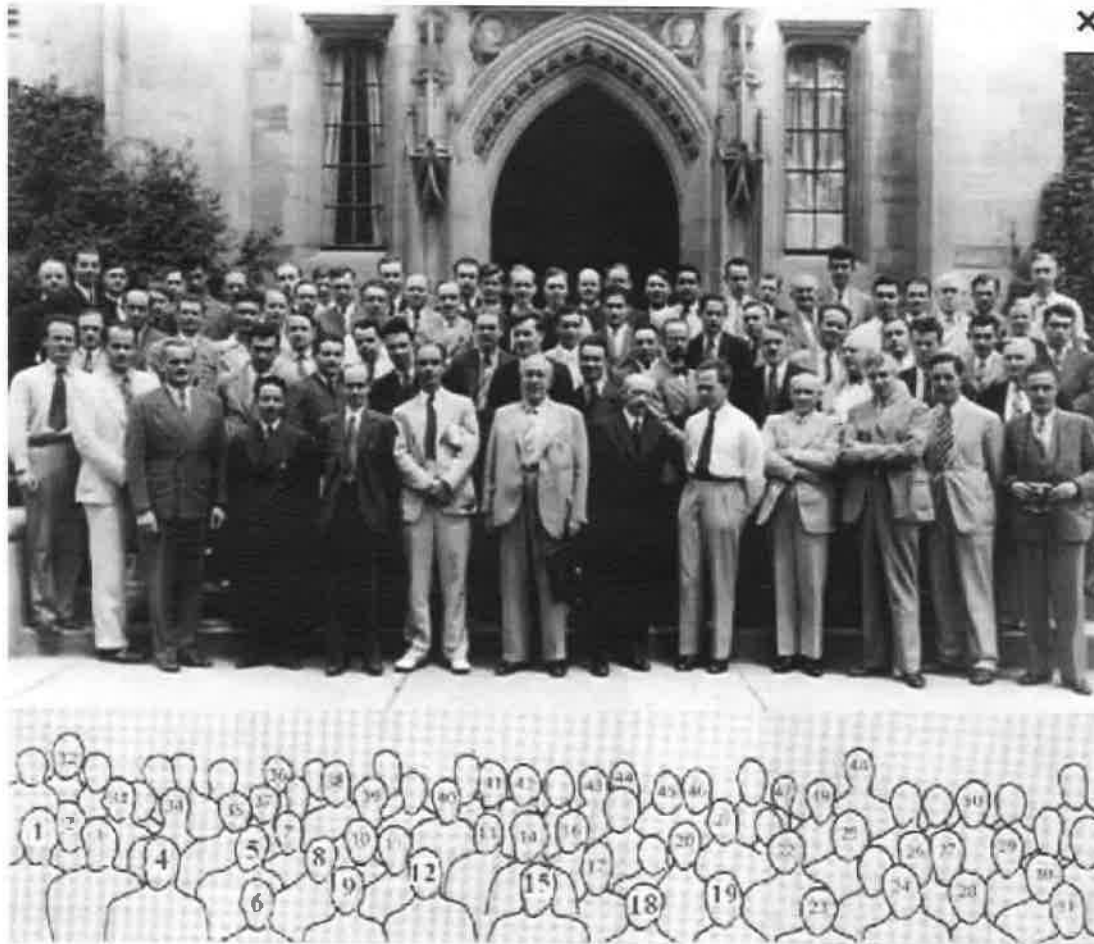
1932- Compton-Alvarez,Johnson, Rossi, east-west,.....

1939 -6.27-30 Chicago-meeting

Compton,Vallarta,Oppenheimer,Anderson,Hess,Rossi,Bode,Auger,Heisenberg,Jonson,

Clay,Swann,Herzburg,Shein,.....

1941 Schein (proton)

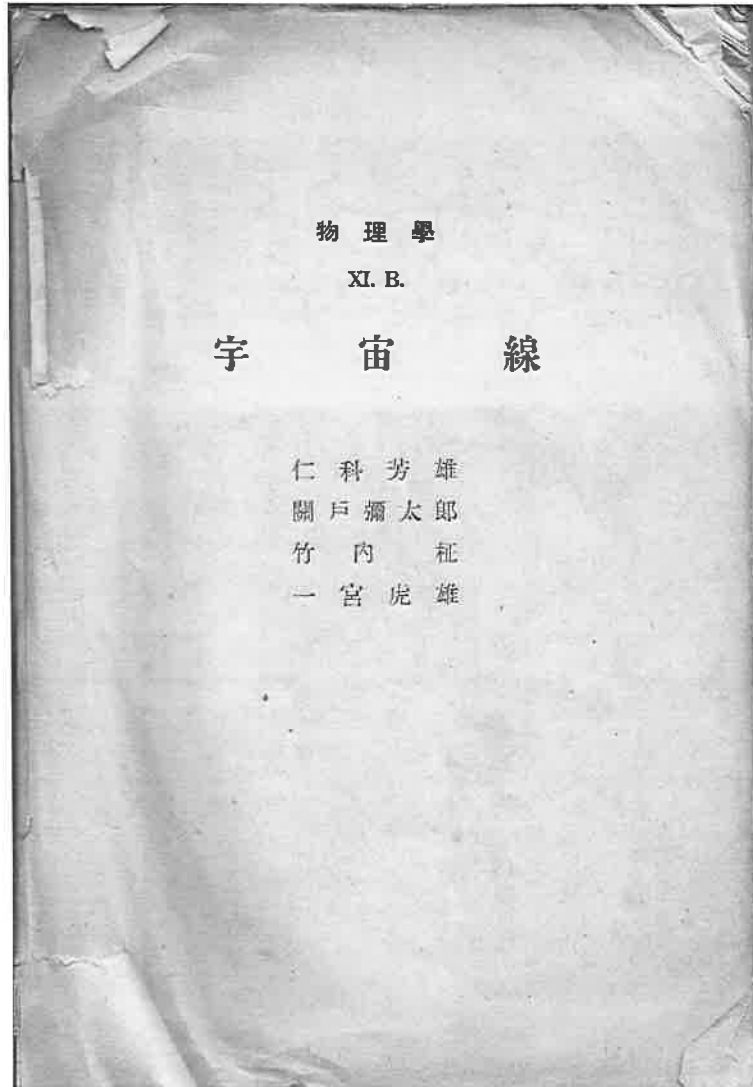


R.M.P

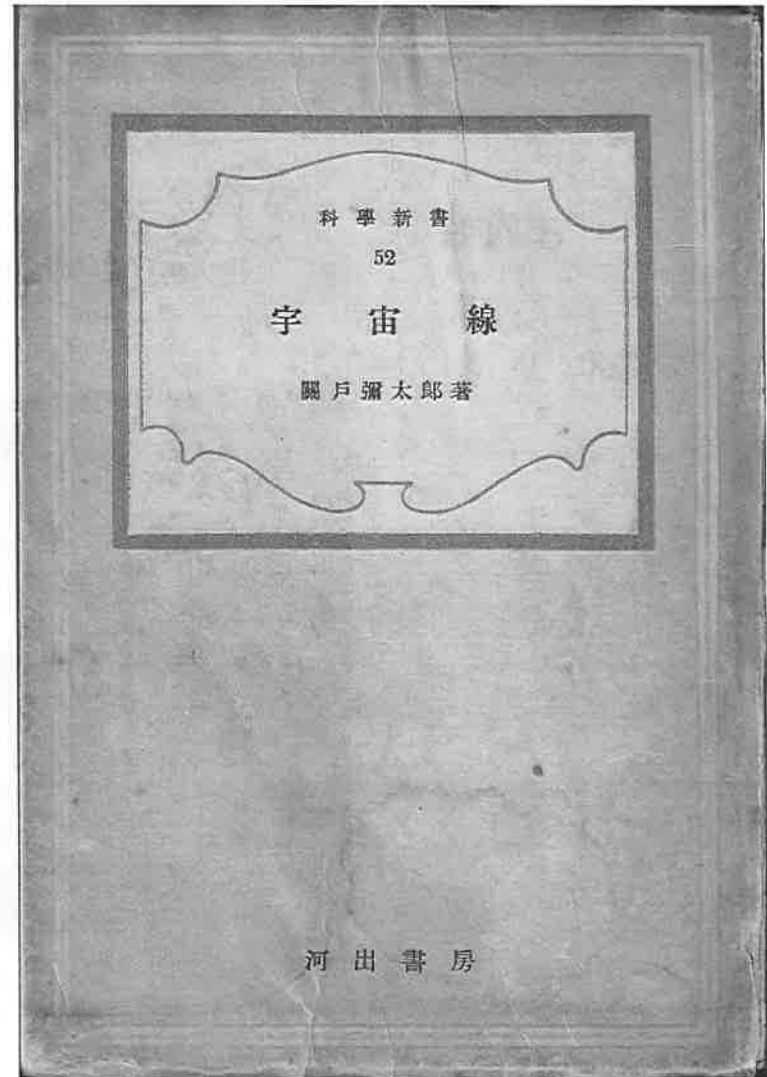
Bethe, Compton, Vallarta, Oppenheimer, Anderson, Hess,  
Rossi, Bothe, Auger, Heisenberg, Jonson,  
Clay, Swann, Herzburg, Shein, .....



1940



1944



**Victor Franz Hess**

1883-6-24, 生まれ in Waldstein Castle, Austria

1901-05 Graz University

Vien University, **Franz Exner**,

1910-20 Radium Institute, **Stefan Mayer**

1920 Graz Univ Extra-Professor

1921-23 USA US-Radium Corp

(1925 “Cosmic Rays”, named by Millikan)

1923, 25 Graz Univ. 教授

1931 Innsburuck University, 教授

Institute of Radiology、CR-Observatory 2300m

1936ノーベル賞 with Anderson陽電子

1937 米国内に亡命, Fordham University, NY

米市民権

scale for hazard of radioactivity,

opposed to nuclear explosion tests

1964-12-17 死亡



1960





Hess, Steinke, Regener



1) なぜ、Hess  
ウィーン大学の物理学

2) 大気イオン, その後  
地球電磁気学、雷、気候変動

The International Radium Standards Committee met in Brussels in September 1910 in connection with the International Congress on Radiology and Electricity. The two most influential members of this committee were the Nobel prize winners Marie Curie and Ernest Rutherford. Rutherford had recently moved from McGill University in Montreal to the University of Manchester in the United Kingdom. Other members of the committee were Bertram Boltwood, a radiochemist from Yale University and close colleague of Rutherford; André Debierne, a colleague of Marie Curie's; Arthur S. Eve, a colleague of Rutherford's from McGill; Hans Geitel, a German physicist from Wolfenbüttel; Otto Hahn, a German chemist who had spent 1905 - 1906 with Rutherford in Montreal; Stefan Meyer, an Austrian physicist who was head of the Institute for Radium Research in Vienna; Egon von Schweindler, a German physicist; and Frederick Soddy, another collaborator of Rutherford's from McGill.

Marie Curie

Ernest Rutherford

Bertram Boltwood

André Debierne

Arthur S. Eve

Hans Geitel

Otto Hahn

Stefan Meyer

Egon von Schweindler

Frederick Soddy





1845 - 1923



h400101 [RM] © www.visualphotos.com



August Kundt  
at Strasbourg



They were members of Kundt's labo. in the same period

Franz Exner



村岡範為馳  
京大物理初代教授



1929年にシュレーディンガーはベルリンでの就任講演を次のように切り出している。

「量子力学の進展は、誰も名をあげてないが、エクスナーの考えが科学的興味の焦点に浮かび上がったことを意味する」「エクスナーは自然の非因果性が持っている可能性と利用法を指摘した最初の人である」ポアンカレ（のカオス）が示すように「現象が完全に因果的か否かということを決定できる経験事実など現実には想像できないのであって、出来ることはせいぜい観測されたことの調査にはある概念、別のものには別の概念が許されるだけである」（1）

シュレーディンガーも認めているように、当時であってもエクスナーの非因果思想や統計的法則観についてはあまり知られてはいなかった。しかしそれは、シュレーディンガーが入学する直前に自殺したボルツマンの物理学の手法にも見られるように、ウィーン大学の物理学科を包む風潮であった。シュレーディンガーは大学では初め気象学を勉強、大戦に召集されてこの方面で働いたが、第一次大戦はエックスナー研究室の助手として学生実験を見ていた。気象の流体力学とデータの統計処理からシュレーディンガーのキャリアーは出発したのだった。

エクスマーは光学や放射線などの実験を幅広く行っていた。エックスナーは若い頃にはドイツに留学し、クントのもとでレントゲンと一緒に学んだ間柄であった。ロシュミットの後任でウィーン大学の教授になったが、1895年に新聞に発表されて世間で話題になったX線で取った手のひらの透視写真は、レントゲンが他ならぬエックスナーに個人的に送ってきた写真が新聞で紹介されたものだ。1929年に宇宙線の発見でノーベル賞を受賞するヴィクトール・ヘスも、他の大学を出てウィーンのラジウム研究所に就職し、ウィーン大学のエクスマー研に出入りし、当時研究室のひとつのテーマだった大気イオン化に興味を持ったのがこの発見につながった（1911-12年）。また揺らぎの理論で有名になるスモルコフスキーもこの研究室にいた。ブラウン運動と並んで、放射性崩壊の平均寿命を理論的に意味づけることなどが研究室の課題だった。

このように、1920-30年代の中欧の大学の教授のポストの20以上をエックスナーの弟子が占めていた、といわれる程に多くの人材を育てた大教授であった。セミナーやティー・タイム、夕食後に彼の家に集まって開かれる団欒の場でも、話題が広く、魅力溢れる語り手に、俊英たちは引き付けられたという。

Exner 一族  
父が教育改革の哲学者

京大から教授が5人、  
ウィーン大学学長が2人



1920-30頃、 中欧の大学  
で20人以上の教授が  
Exner研の出身だった

1849-1926

Meyer

1872-1946



Smoluchowsky

1872-1917



Hess

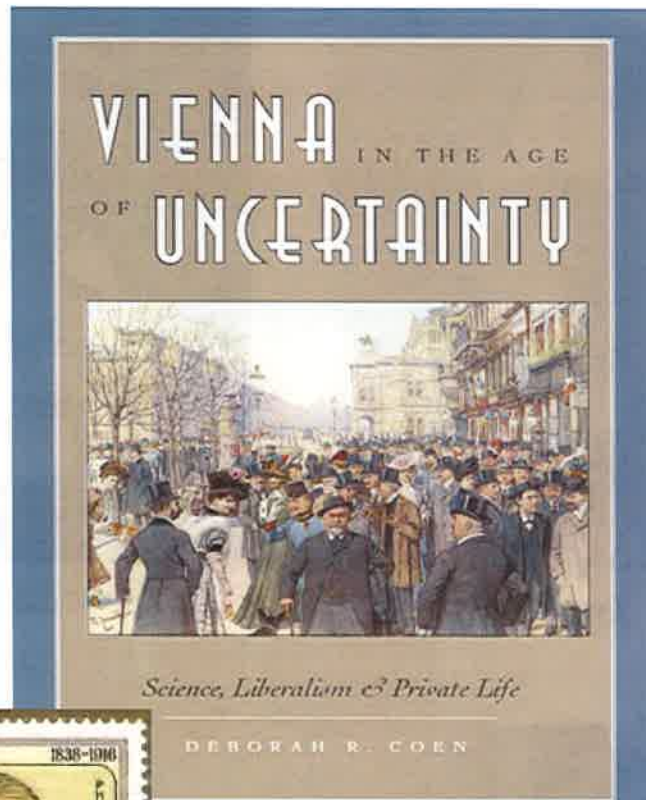
1883-1964



Schrodinger

1887-1961





## Klimt

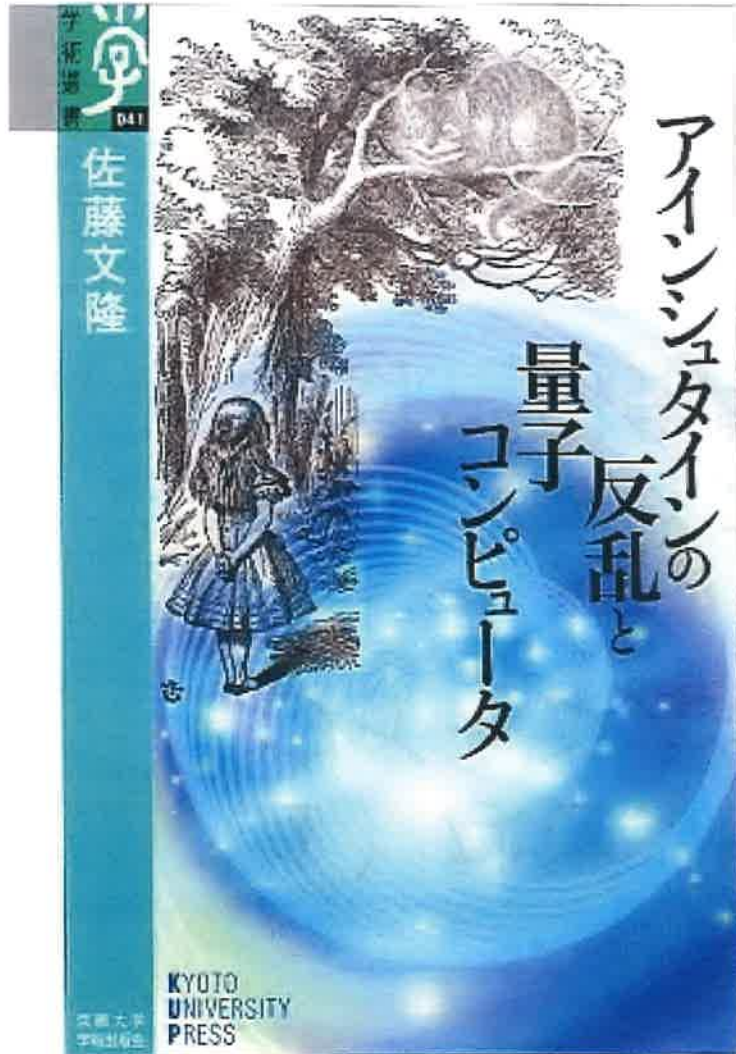


Fig. 2. In a Viennese Kaffeehaus around 1914 (from right to left): Franz Serafin Exner, Stefan Meyer, Friedrich Hasenöhrl, Ludwig Hätinger, Felix Exner, Viktor von Lang, Cesar Pomeranz, Eduard Haschek, Rudolf Wegscheider. Courtesy of the Zentralbibliothek für Physik, Vienna.

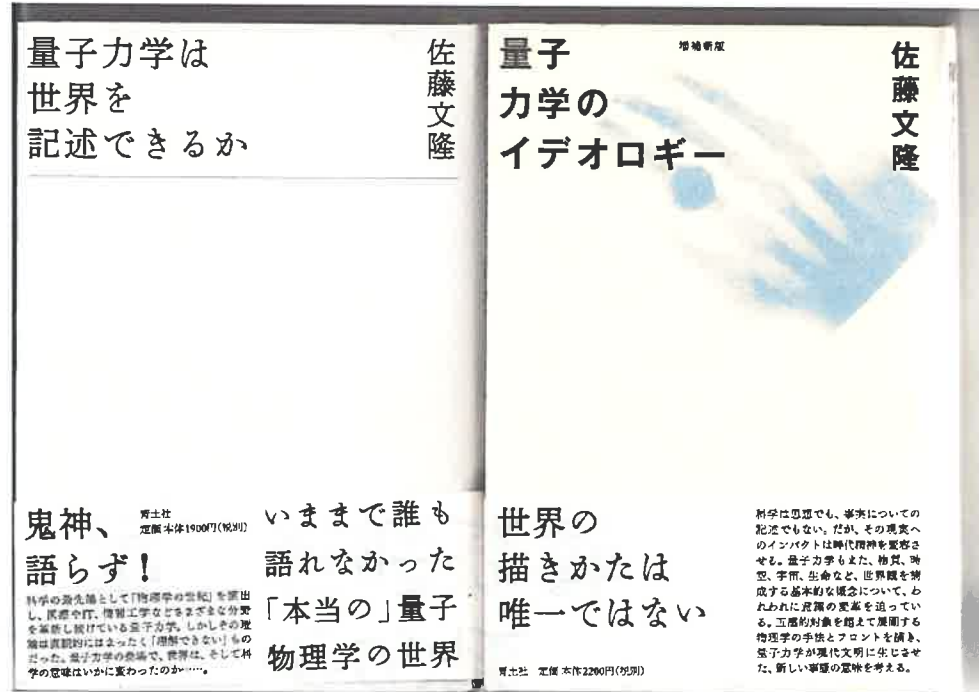




2009



Mach, Ostwald, Boltzman, Exner, Schrodinger



2011



1997

1) なぜ、Hess  
ウィーン大学の物理学

2) 大気イオン      その後  
地球電磁気学、雷、気候変動

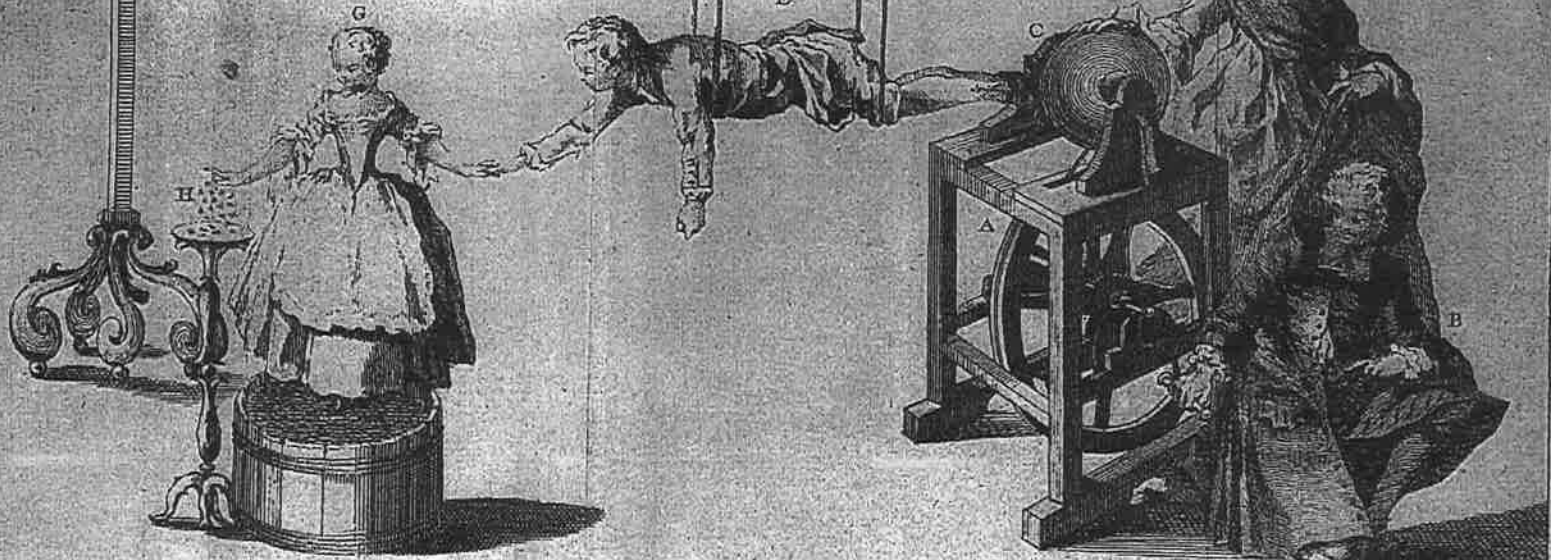




Fig. 2.

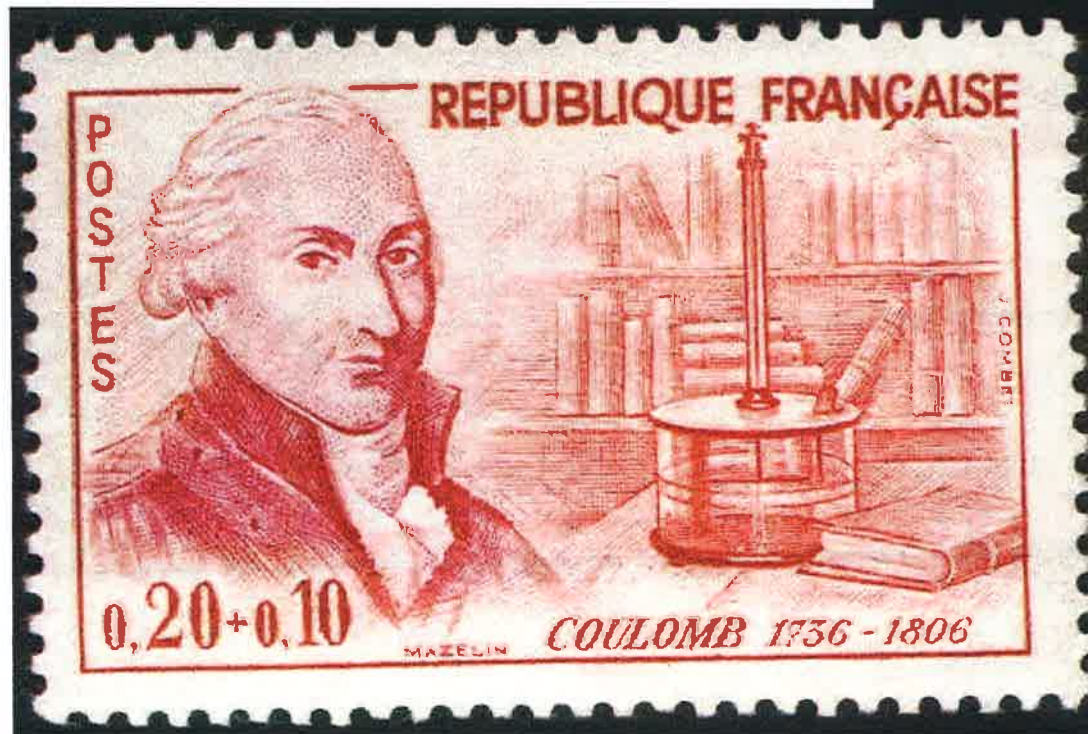
Fig. 1.

Fig. 2.

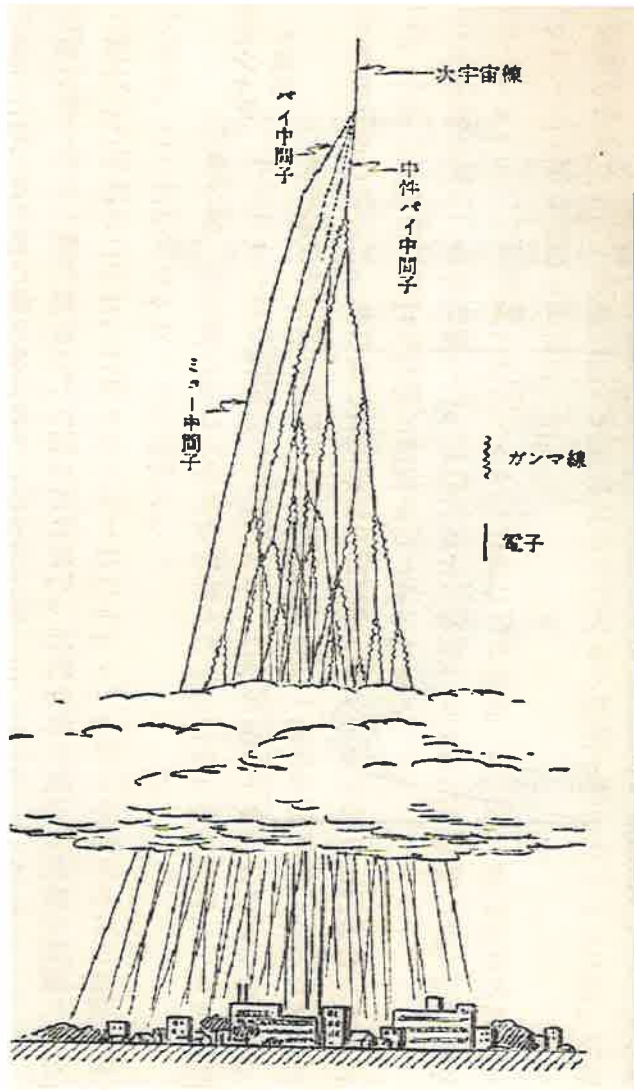


クーロン 1736-1806

静電気の漏電







「宇宙線の話」 朝永振一郎編  
1960年岩波新書

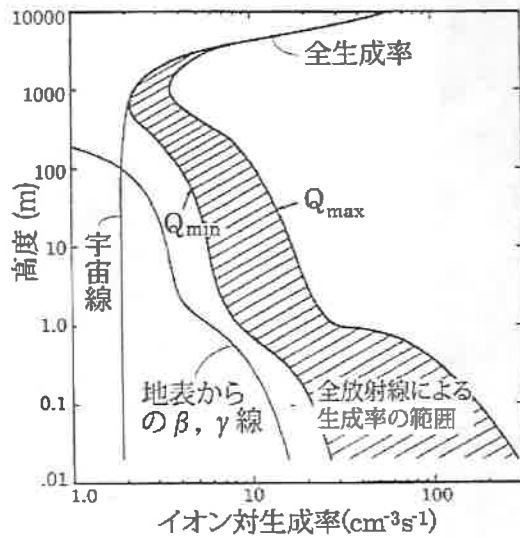


図 2.3 宇宙線・放射線物質によるイオン対生成率 ( $\text{cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ ) の高度分布. 放射線によるイオン対の全生成率は斜線域内 (Hoppel et al., 1986).

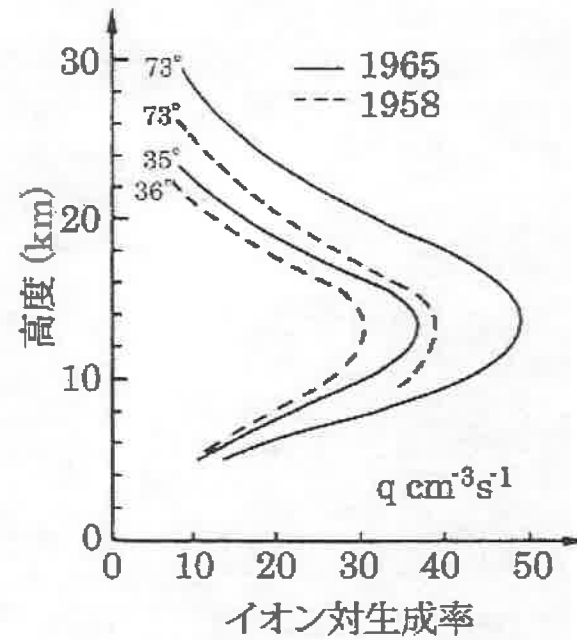


図 2.2 宇宙線によるイオン対生成率 ( $\text{cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ ) の高度分布. 異なる緯度での太陽黒点, 最小の年 (実線, 1965 年) と最大の年 (断続線, 1958 年) (Gringel et al., 1986).

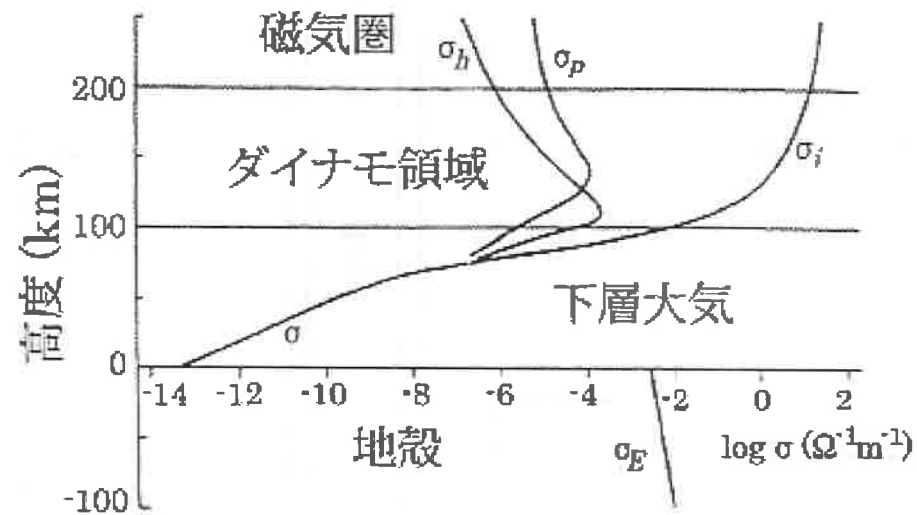
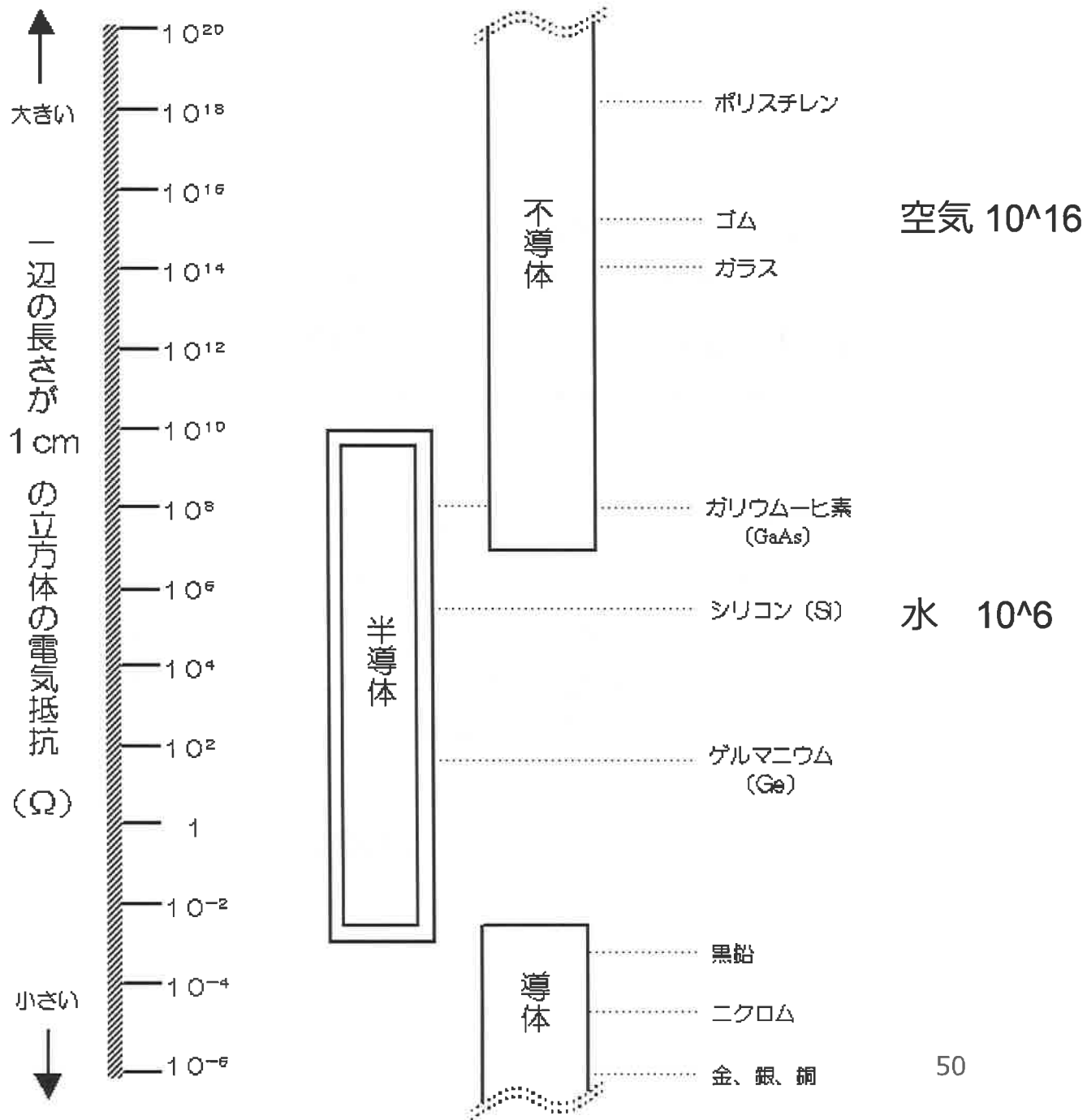
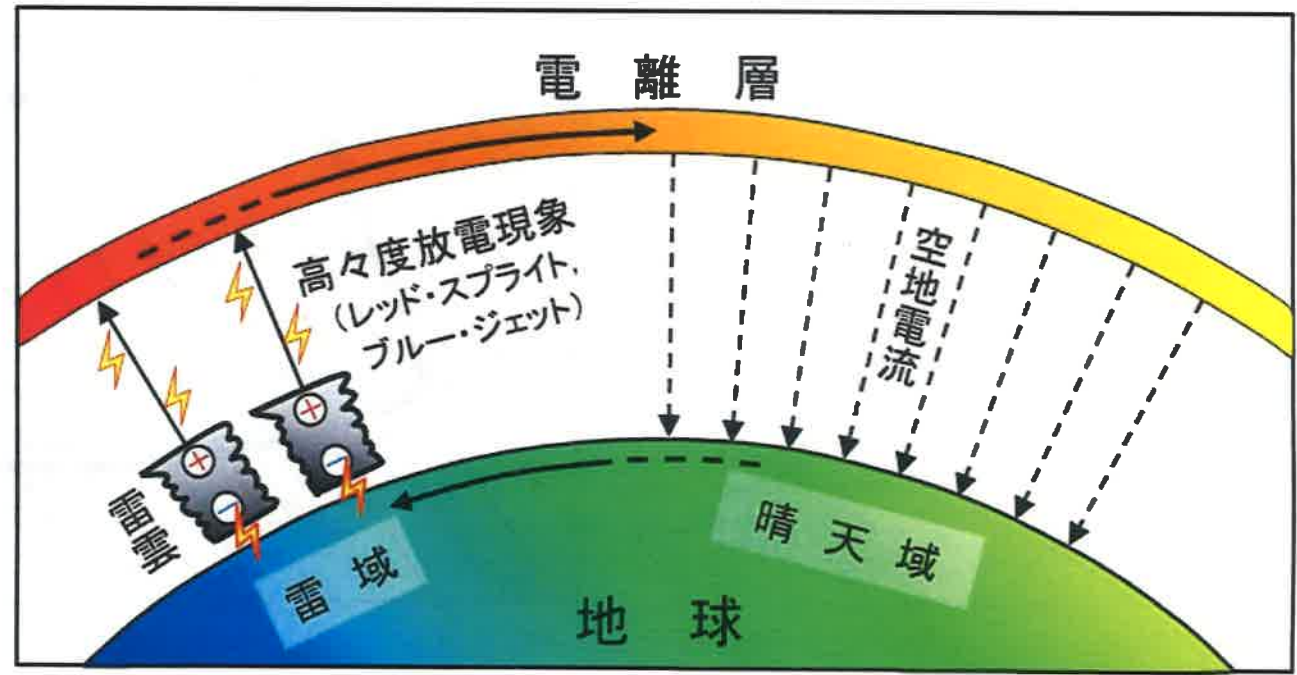
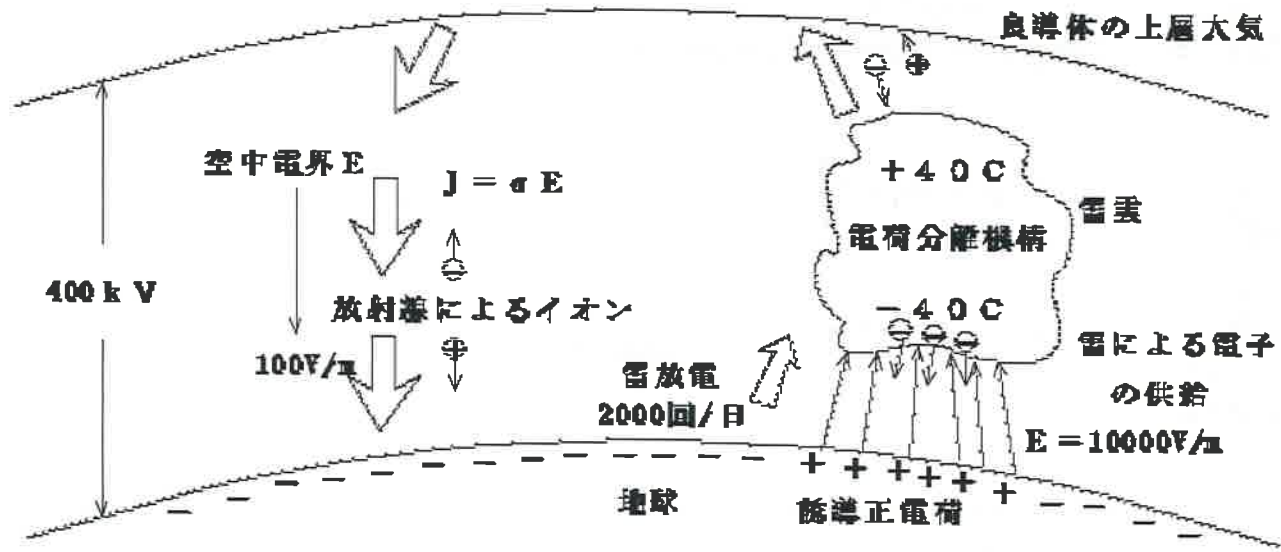
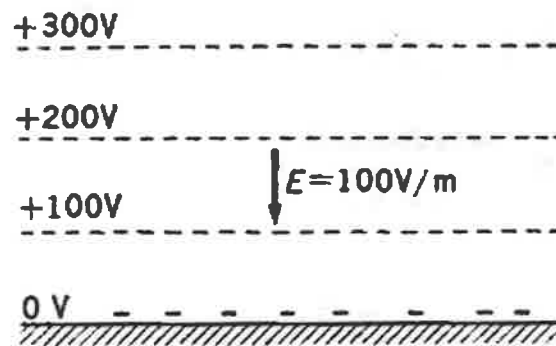
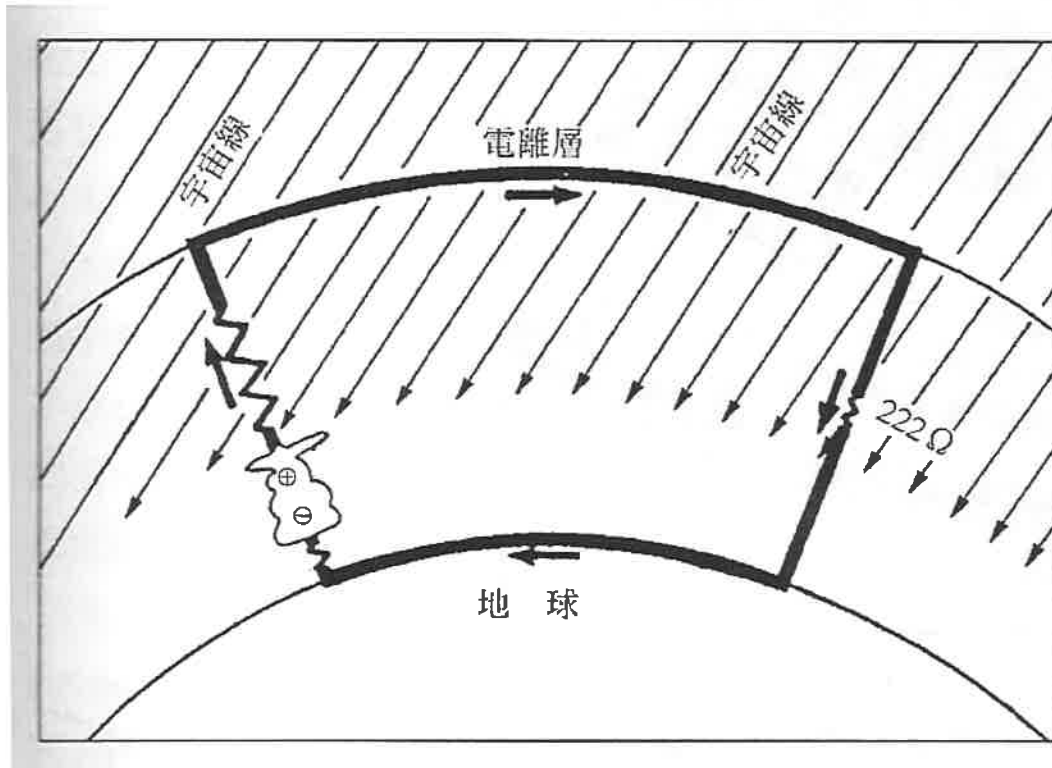


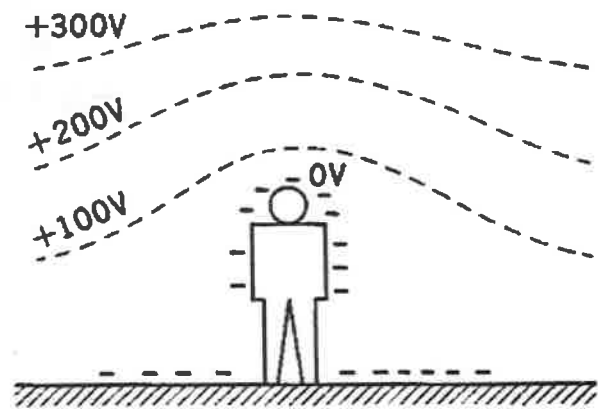
図 2.8 電気伝導度高度分布.  $\sigma_i$ : 磁場方向,  $\sigma_p$ : 電場に平行で磁場に垂直 (Pedersen 伝導度),  $\sigma_h$ : 電場・磁場に垂直 (Hall 伝導度),  $\sigma_E$ : 地殻の伝導度 (Volland, 1982).







地面上方の電位分布



戸外の平地に立つ人の近傍の電位分布

(ファイマン、レイトン、サズ「ファイマン物理学Ⅲ電磁気学」岩波書店より)



# 地球コンデンサー電位の漏電時間

$$Q = S\sigma = (5 \times 10^{14})(1.1 \times 10^9) = 5.5 \times 10^5 C$$

$$C = Q/V = 5.5 \times 10^5 / 3 \times 10^5 = 1.8 F$$

$$R = V/I = 310^5 / 1350 = 222 \Omega$$

$$\tau = RC = 400 \text{ sec} = 7 \text{ min}$$

7分でなくなる電位がある → 大域的に雷が電池の役目

# 雷は起電力、電池

- 対流 → 上昇 → 温度低下  
→ 氷点以下となり氷晶へ → 潜熱で加熱 → 上昇流促進 → 積乱雲発達
- 種々のサイズの氷晶 → 上昇（降下）  
速度に差 → お互いに衝突 → 摩擦電気で帯電 → 重いものの降下で荷電分離  
→ 電位差増大 → 真空崩壊 → 雷放電
- 電流でプラズマ、電波、稲妻、雷鳴

# 雷は大気のイオン、電気環境の調整役

- 大気中のイオン（帯電したエアロゾルなど、原子分子のイオンだけでない）
- イオンで電気伝導度きまる、漏洩電流、電位
- イオン核が水滴凝結を促進  
    ウイルソンの霧箱
- イオンの状態が雲発生に関係？
- 雲発生状況は気候変動の重要因子

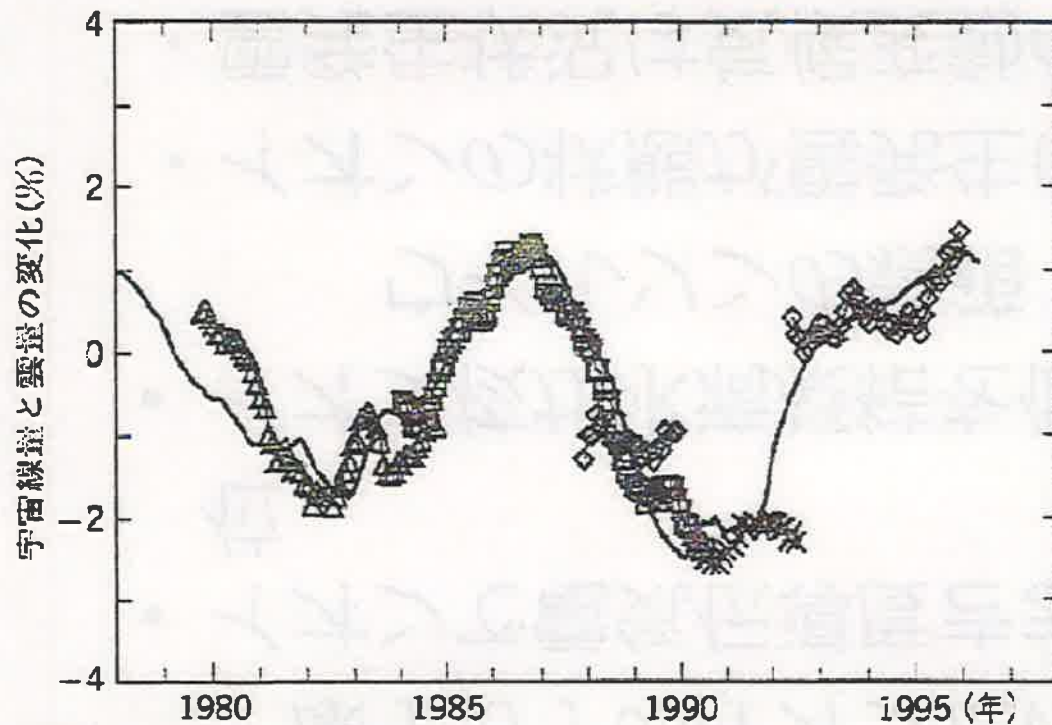


図3 衛星観測から得られた雲量に対する四つのデータセットと、規格化した宇宙線量(実線の曲線)の関係。三角印は Nimbus-7 のデータ、四角印は ISCCP-C2 データ、菱形は DMSP データ、十字は ISCCP-D2 データである。12カ月の移動平均を施してある。Nimbus-7 と DMSP データは南半球海上の全雲量、ISCCP は海上の静止衛星による全雲量(熱帯を除く)である(文献<sup>2)</sup>から)。

## 地球大気の電磁気環境が長期気候変動に及ぼす影響の解明が新しい研究課題に

太陽活動、黒点、太陽風、宇宙線、電離層、地磁気、オーロラ、などと気候変動の関係 → 古気候情報の発掘



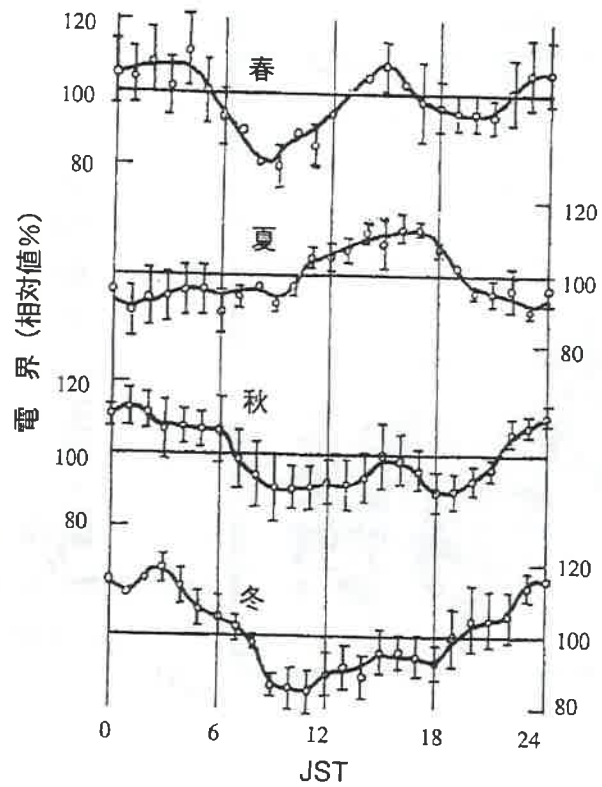
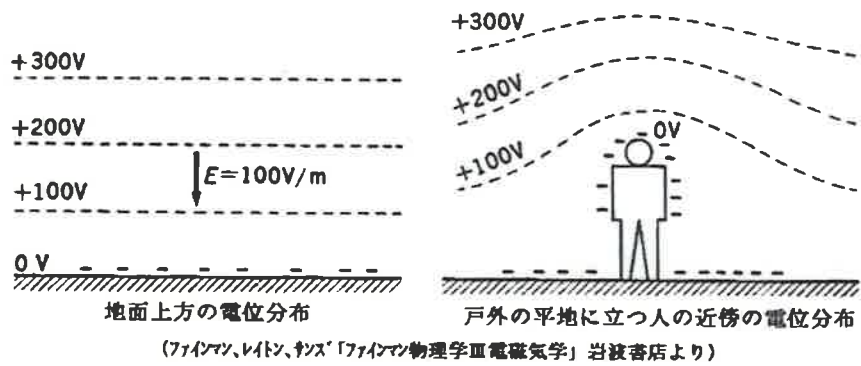
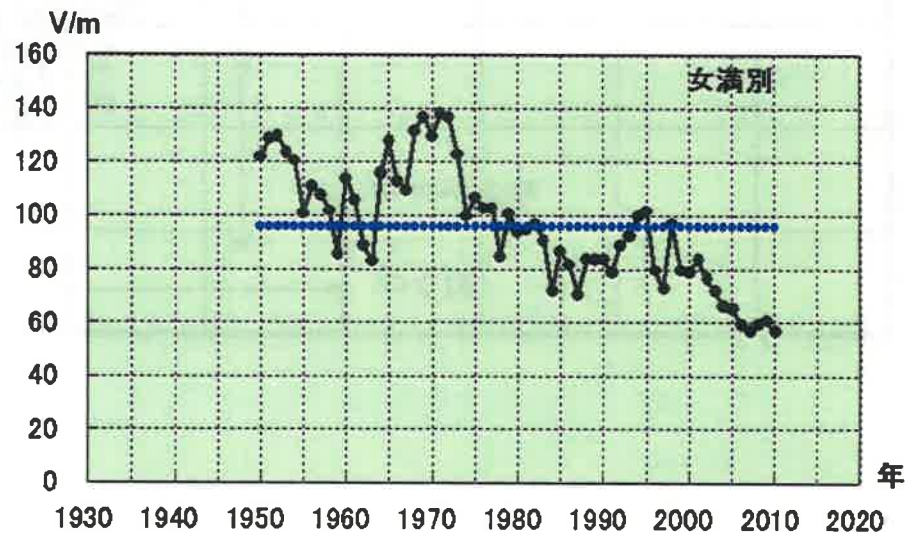
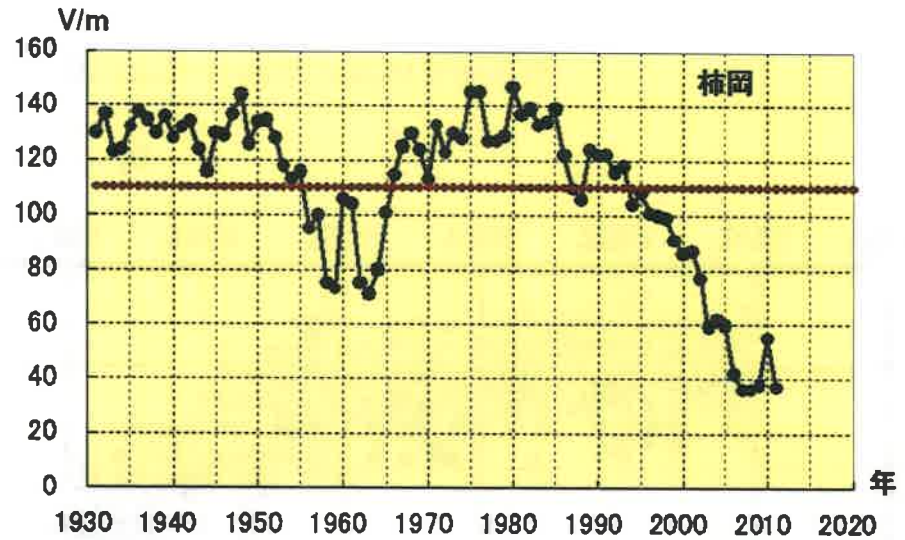


図4-5 富士山頂の季節別大気電界の日変化 (関川, 1960)



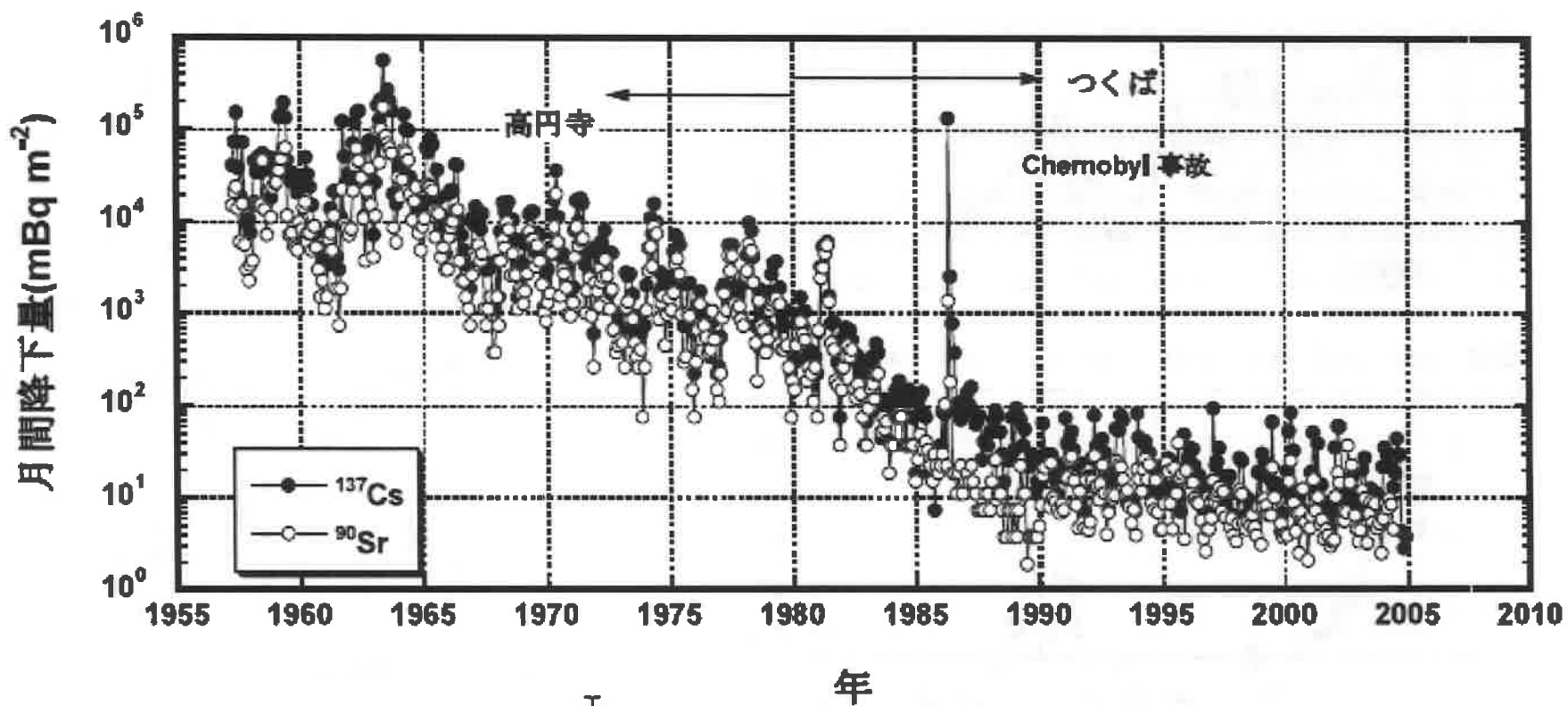
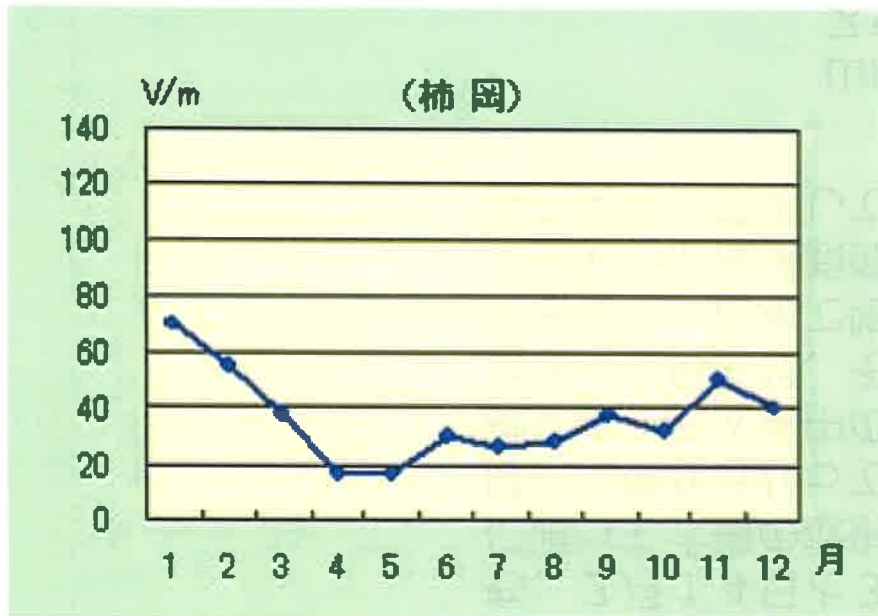
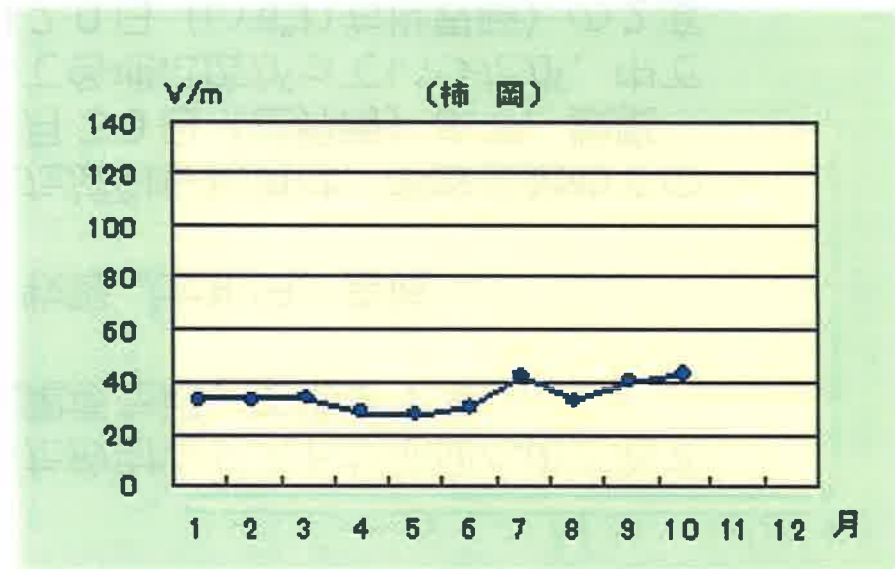


図1 気象研究所における <sup>137</sup>Cs 及び <sup>90</sup>Sr 月間降下量の長期変動

2011



静穏日の月平均値のグラフ(2012年)



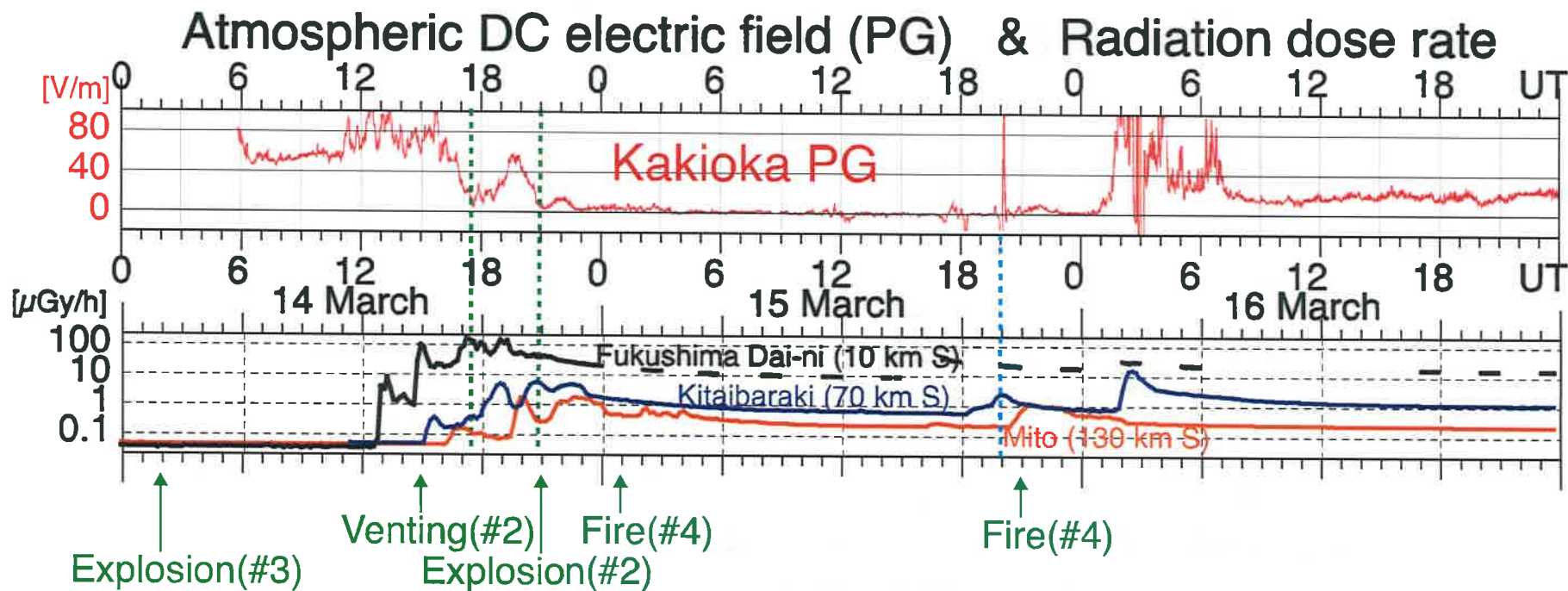
福島原発事故で飛散した放射性ダストが地面への定着するまでの全過程を大気電場を用いて推定する

執筆者：山内、竹田、牧野、大和田、宮城

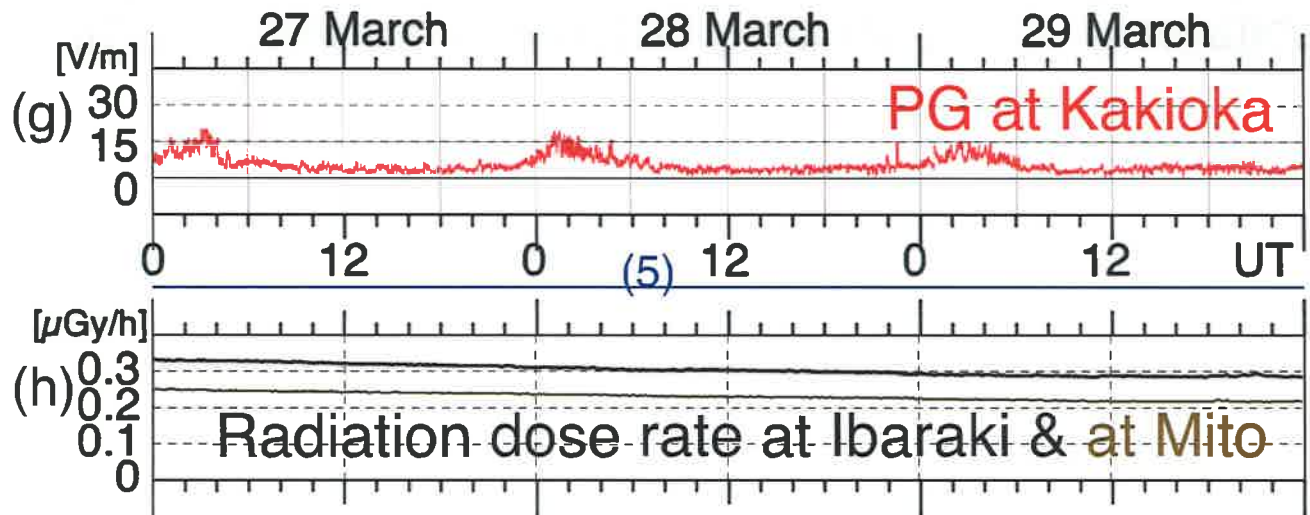
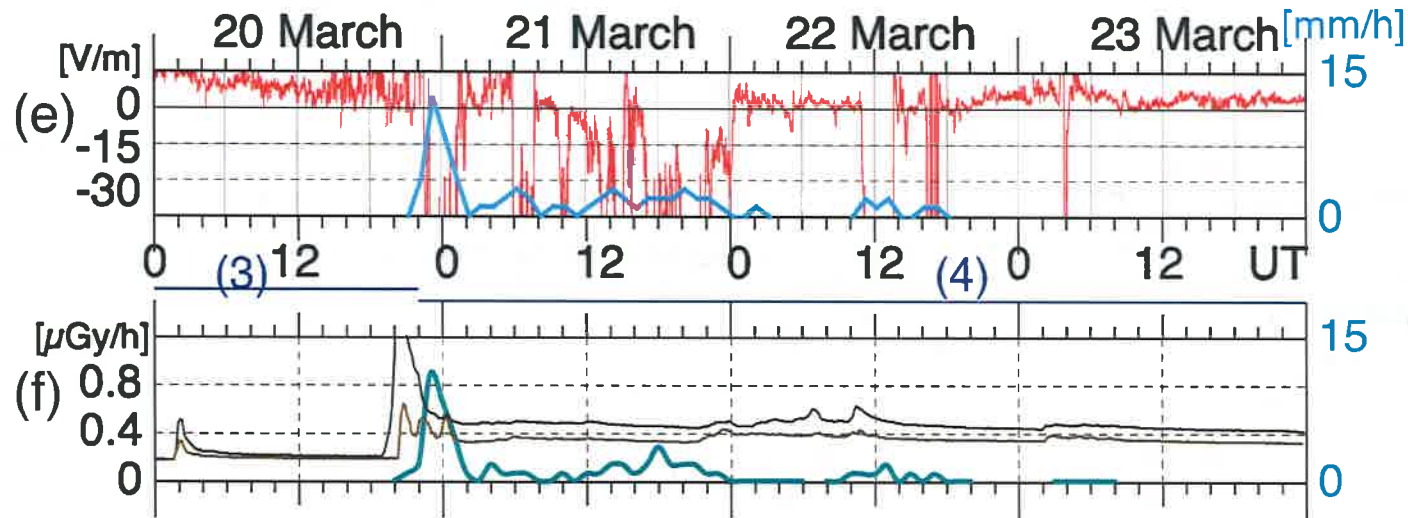
福島原発から放出された放射性物質は、事故後始めての本格的降雨のあった3月20日（世界時）まで、数度に渡ってダスト雲として各地に広がっていったが、中でも、3月14日と3月20日（いずれも世界時）の2度に渡って大量の放射性ダスト雲が南に100キロ以上運ばれた事が分かっている。この放射性ダスト雲は放射線によって大気中の分子を電離して大気の電気伝導度を大きく上昇させ、それ故に大気電場（PG）を大きく減少させた。日本で唯一の大気電場観測点である柿岡地磁気観測所は福島原発の南南西150kmに位置し、この影響を実際に観測している。

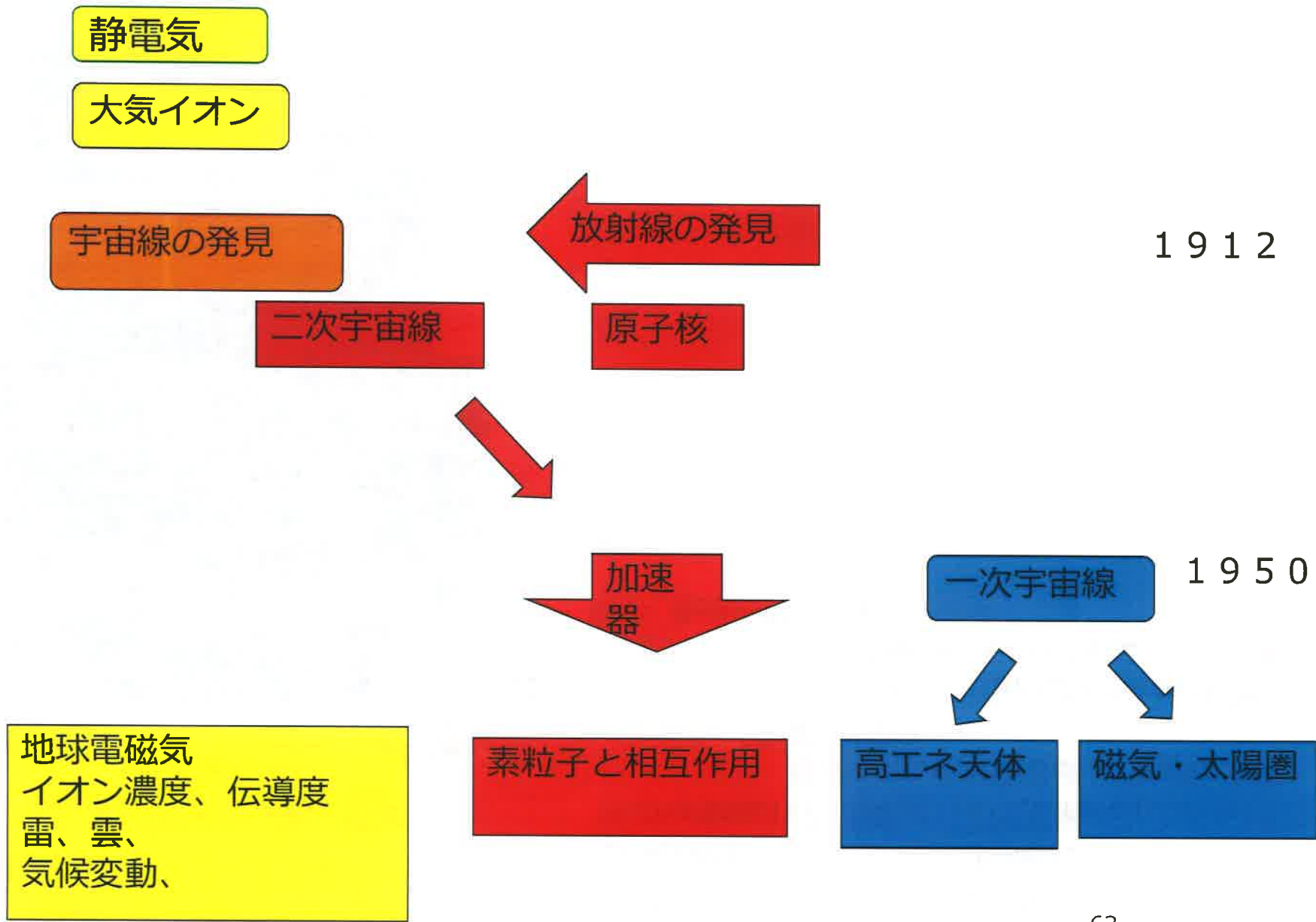
山内正敏  
スウェーデン国立スペース物理学研究所





PG at Kakioka & Rain at Kakioka & at Mito  
 Radiation dose rate at Ibaraki & at Mito





日本の科学者技術者展シリーズ第3回

ゆかりひてき ともしがしんいちろう  
湯川秀樹・朝永振一郎 生誕百年記念

そりゅうし ひら  
素粒子の世界を拓く

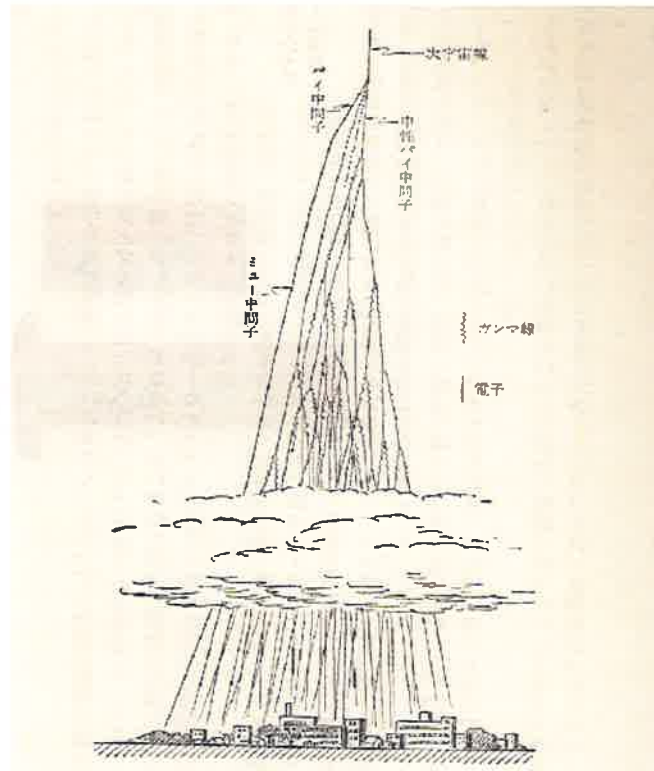
監修：佐藤文隆 (京都大学名誉教授)  
江沢 淳 (学習院大学名誉教授)



2006年3月26日(日)~5月7日(日)

国立科学博物館

- 1850 Rontgen1845 ,Exner1849
- JJ-Thomson1856,Planck1858
- 長岡1865,Millikan1863,Curie1867
- Rutherford1871,Meyer1872,Einstein,Laue1879
- Hess1883,Kohlhorster1887,Schrodinger1887
- 仁科1890,Bothe1891
- 1900 Pauli1900;Heisenberg,Fermi,Lawrence1901
- Dirac,Shein1902;Oppenheimer1904;Rossi1905
- 朝永,Bethe1906;湯川1907

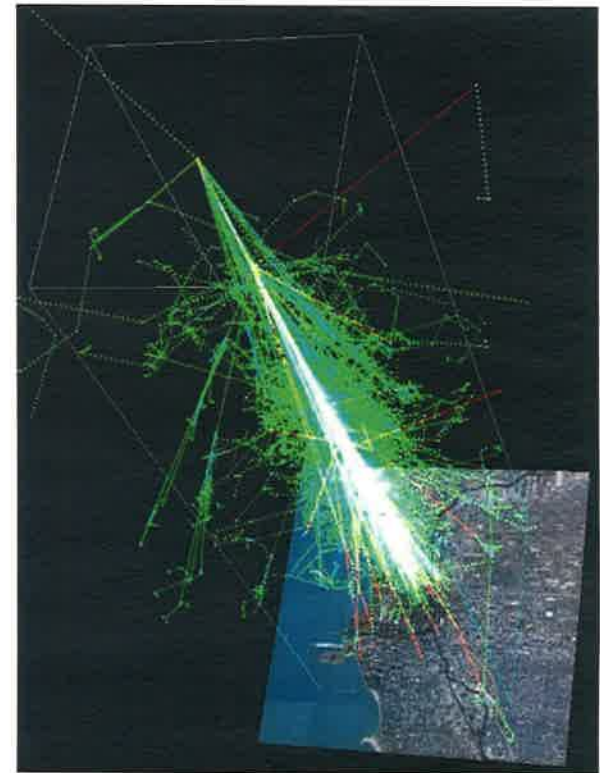




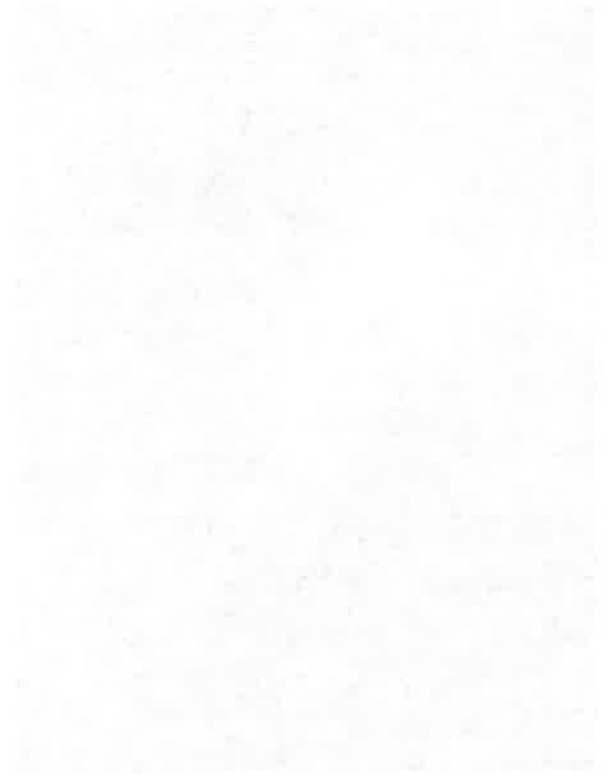
# 宇宙線発見時に思い起こして

視点を遠くにとぼす手がかり  
(素粒子、宇宙起源など)

地球環境そのもの  
理科的に感知できる教育を



END





仁科記念講演会「宇宙線発見100周年」

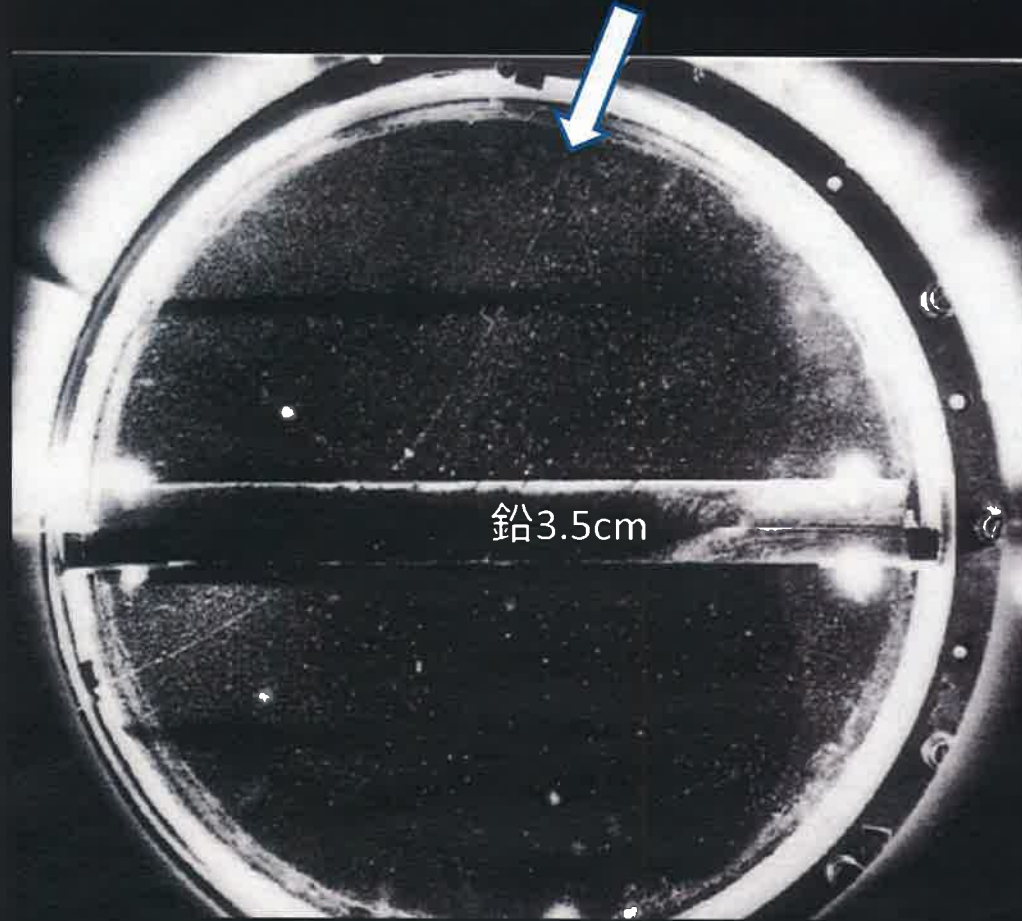
2012年12月6日@東京大学小柴ホール

# 宇宙線発見から100年経って

東京大学宇宙線研究所  
梶田隆章

宇宙線発見から100年経って

# ポスターの写真について



仁科、竹内、一宮

Phys. Rev. 52 (1937) 1198 (Dec.1)

霧箱:

直径40cm

磁場1.7Tesla

運動量と運動量損失の関  
係より求められた質量:  
陽子の質量の1/7から1/10  
=  $114 \pm 20 \text{ MeV}/c^2$

▲ 仁科研究室で撮影した  
宇宙線ミュオンの飛跡, 1937年  
この写真によりミュオンの質量が決定された

詳しくは;  
西村純「宇宙線発見100年にあ  
たって」日本物理学会2012年秋



# 話の内容

- 宇宙線発見:その後
  - 宇宙線研究の今
    - 宇宙線の起源を求めて
    - 光では観測できない宇宙の姿を探る
    - 宇宙線を利用して
  - まとめ
- ✓ 宇宙線が発見されてから100年経って宇宙線研究がどのくらい発展しつつあるかを概観してみたいと思います。ただし全ての研究は網羅できませんし、日本の関係する研究に偏って、また実験的な研究について見ていきたいと思います。

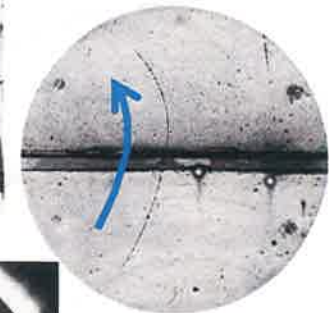
# 宇宙線発見:その後

# 宇宙線発見:その後 (~1950年以前)

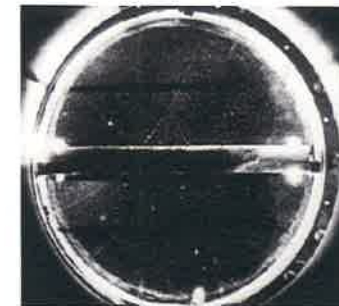
- 1912: 宇宙線発見(Victor Hess)
- 1932: 宇宙線中に陽電子の発見(Carl D. Anderson)
- 1933(?): 宇宙線東西効果の発見(一次宇宙線の電荷が正であることの発見)
- 1937: 宇宙線中にミューオンの発見(Nedermeyer-Anderson, Street-Stevenson, Nishina-Takeuchi-Ichimiya)
- 1938: 空気シャワーの発見(電子を仮定して $E > 10^{15}$  eVと推定された)(Pierre V. Auger)
- 1947: パイ中間子の発見(Cecil F. Powell)



Hess



陽電子



ミューオン



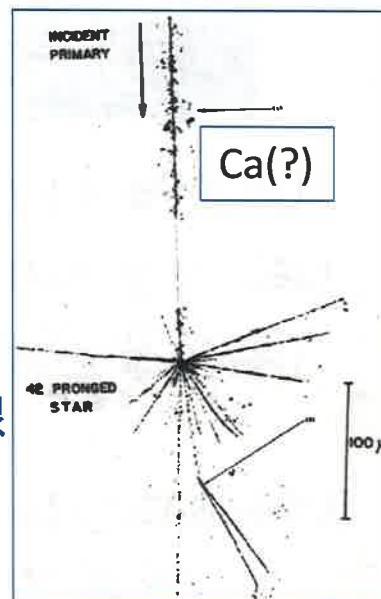
ミューオン

そもそも宇宙線が何かの理解と、  
宇宙線中の素粒子の発見の時代

西村純、日本物理学会2012年秋  
永野元彦、日本物理学会2012年秋

# 宇宙線発見:その後(1950年頃~)

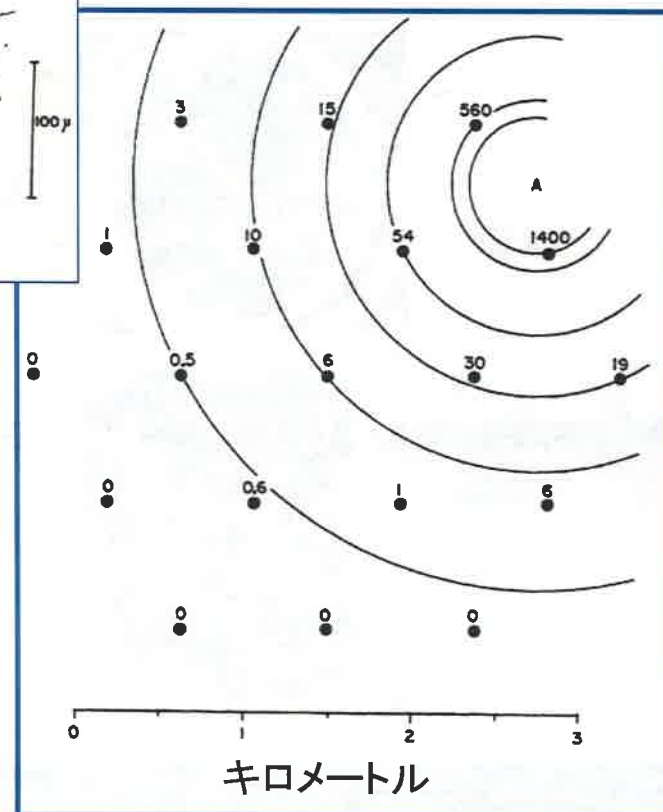
- 一次宇宙線の多くは陽子
- 炭素、酸素、鉄などの重い原子核の存在
- 空気シャワーの理解 (E. Fermi, 西村-鎌田)
- フェルミ加速の提唱。(宇宙線が銀河系内起源とすると、銀河系の大きさと磁場から宇宙線のエネルギーの上限として $10^{15} \sim 10^{16}$ eV程度を予言)
- 宇宙線エネルギーの上限を観測するため、大がかりな実験:
  - $\sim 10^{18}$ eV宇宙線の観測 G. W. Clark et al., (1961).
  - $\sim 10^{20}$ eV宇宙線の観測 J. Linsley (1963). (事象が観測されたのは宇宙線50周年の1962年。ただ、 $10^{20}$ eVの宇宙線が本当に来ているのかという問題は近年やっと解決(後述))



西村純、日本物理学会2012年秋  
永野元彦、日本物理学会2012年秋

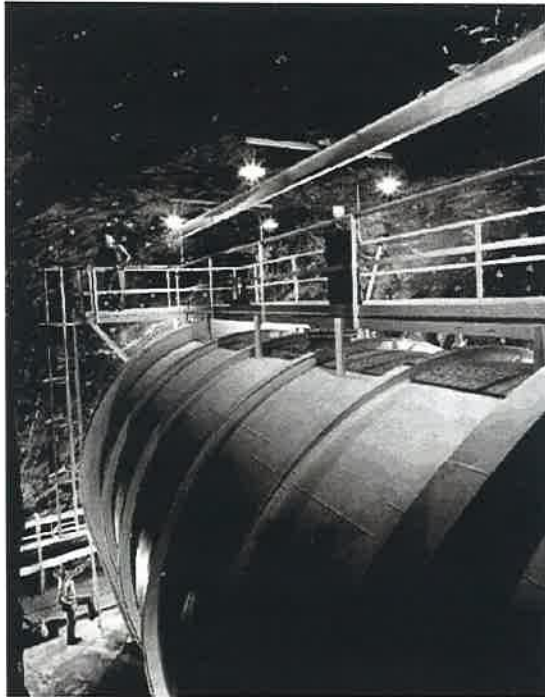
原子核乾板

世界最初の $\sim 10^{20}$ eV事象

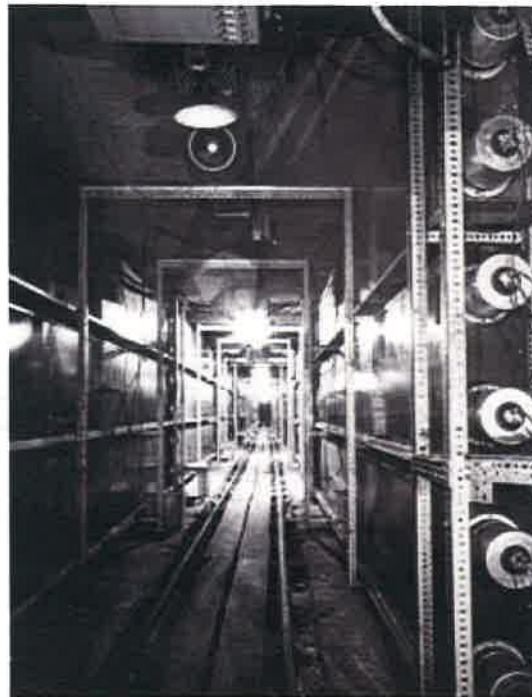


# 宇宙線発見:その後(1960年頃代~)

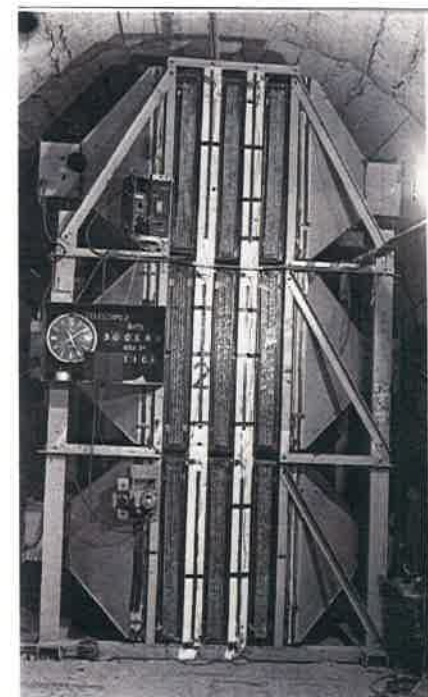
- 太陽ニュートリノの観測 (Ray Davis Jr.他 1960年代後半~)
- 宇宙線が大気中で作るニュートリノの観測 (1965)



世界最初の太陽ニュートリノ観測 → **太陽ニュートリノ問題**



最初の大気ニュートリノ事象 (1965.2.29) (論文65.8.30, F. Reines et al. アメリカ-南アフリカ)



最初の大気ニュートリノ観測の論文(1965.8.15, インド-日本(三宅ら)-英国)



# 宇宙線研究の今

- 宇宙線が明らかにしたこと: 宇宙には光では観測できない姿がある。 ..... (2)
- しかし、宇宙線の起源は何? ..... (1)
- また、宇宙線を利用した研究も ..... (3)

# 本日の話で主に関係しそうな天体

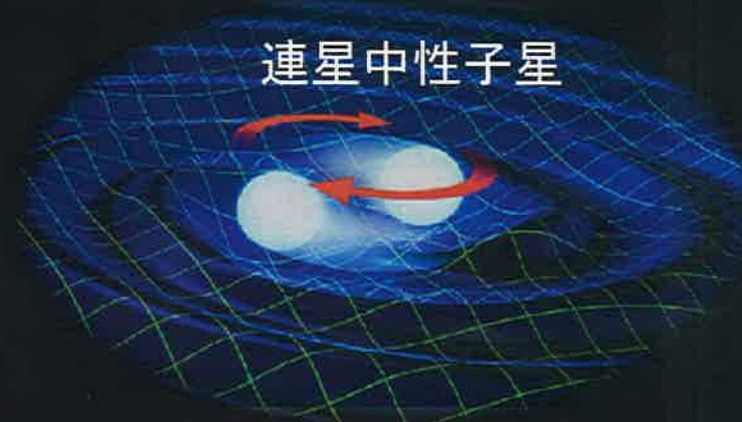
超新星



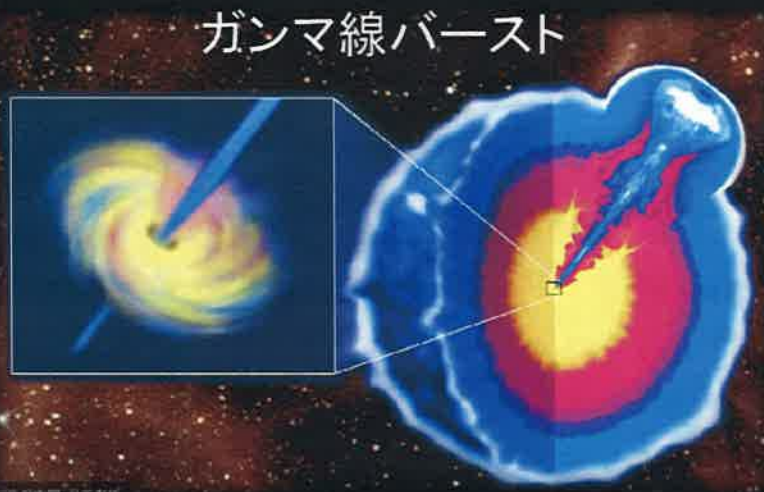
超新星残骸



連星中性子星



ガンマ線バースト



銀河の中心の巨大ブラックホール





宇宙線の起源を求めて

(宇宙線で宇宙を探る)

# 最高エネルギー宇宙線の謎

◆宇宙線のエネルギーは(少なくとも)  $10^{20}$ 電子ボルトまで延びています。

◆  $10^{20}$ 電子ボルトは、プロのテニスプレーヤーのサーブの運動エネルギー位！

◆なぜこんなことが可能なの？

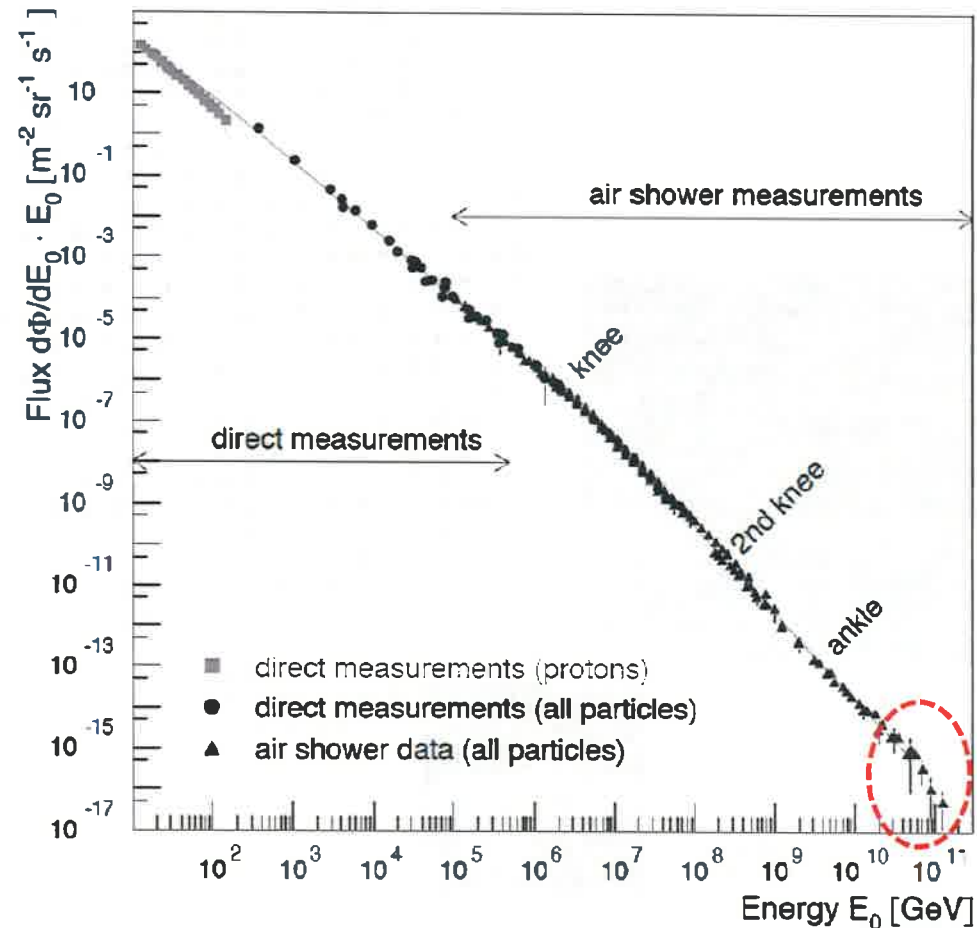
●詳しく調べたい。

✓エネルギースペクトル？

✓どんな粒子(陽子か鉄か)が飛来？

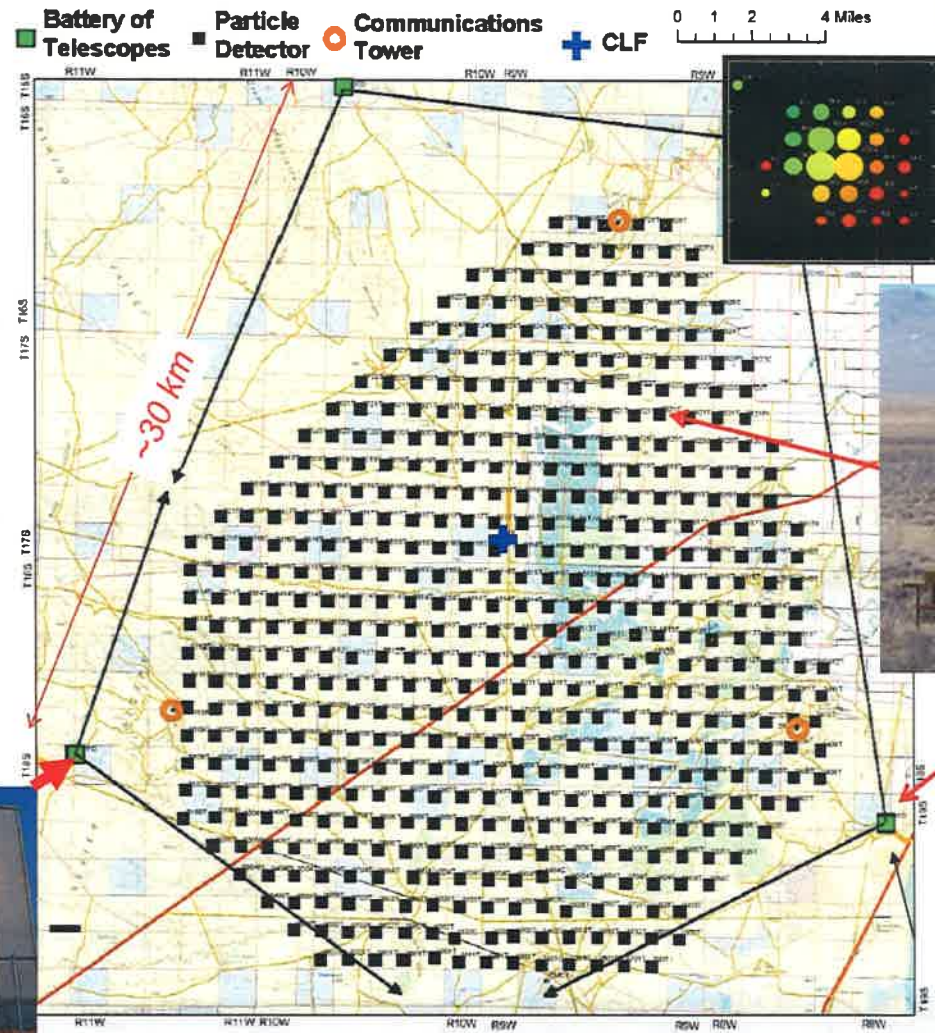
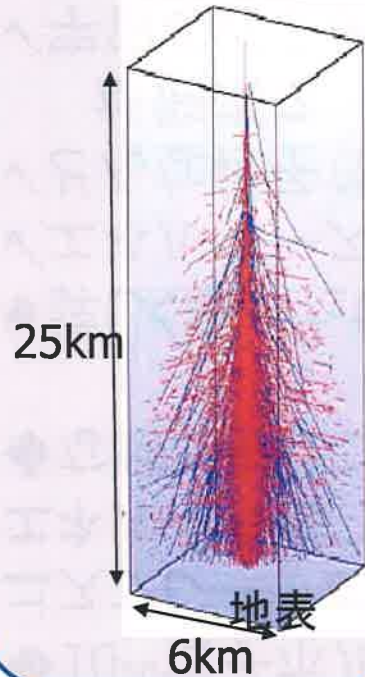
✓宇宙のどこから飛来？

難しいこと: 頻度が低い。



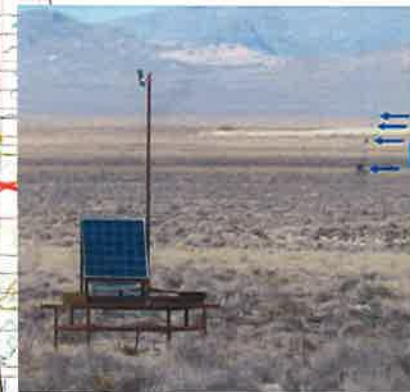
# 最高エネルギー宇宙線を測る

宇宙線1粒子が大気に入射すると;

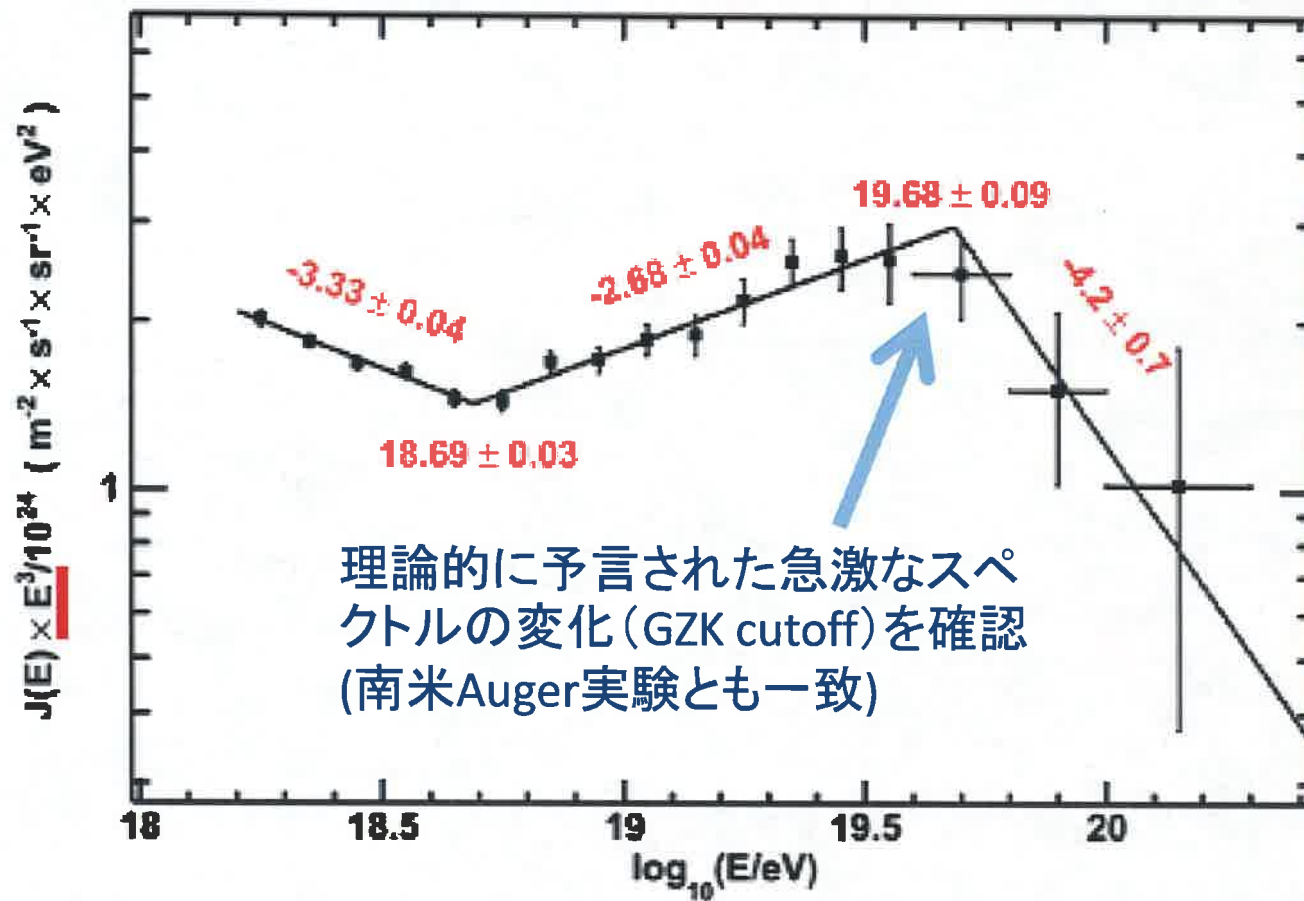


アメリカ・ユタ州

700km<sup>2</sup>



# 最高エネルギー宇宙線の観測

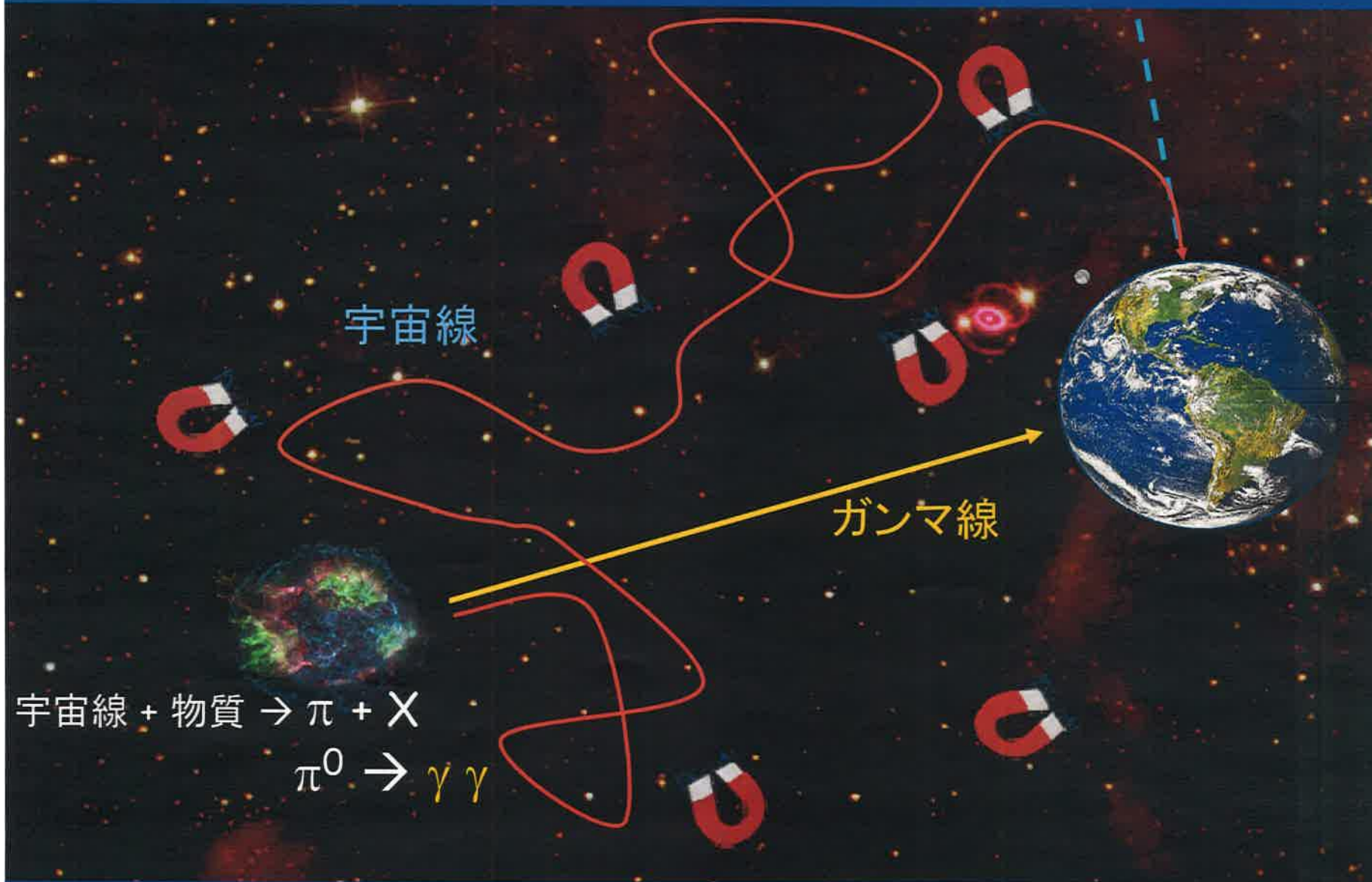


その一方で;

✓どんな粒子が飛来しているか？ (北半球:陽子?、南半球:鉄?)



# 宇宙線がどこで作られたかを知りたい



宇宙線 + 物質 → π + X  
π<sup>0</sup> → γγ

# 高エネルギーガンマ線の観測



## MAGIC

17m x 2  
Canaries



## VERITAS

12m x 4  
Arizona



## HESS

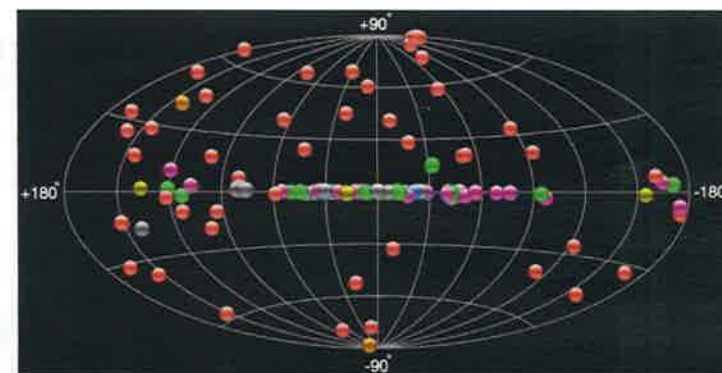
12m x 4  
Namibia



## CANGAROO

(finished)  
Australia

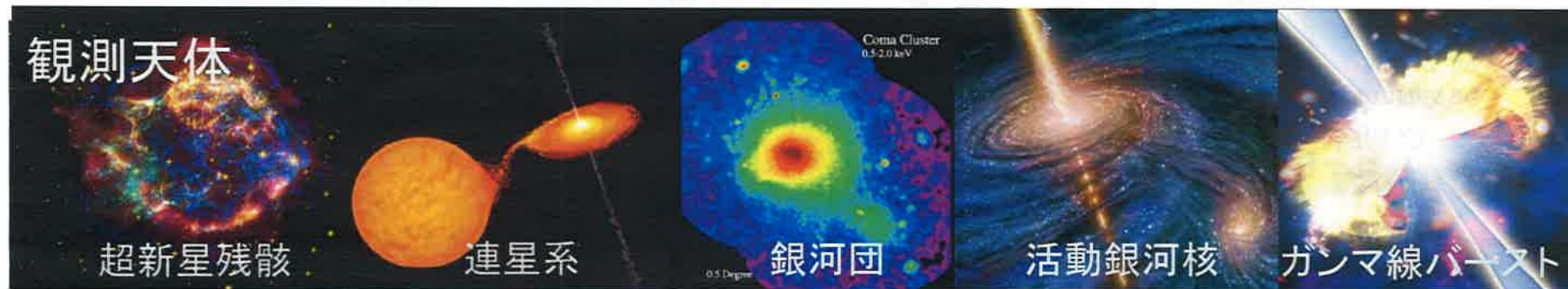
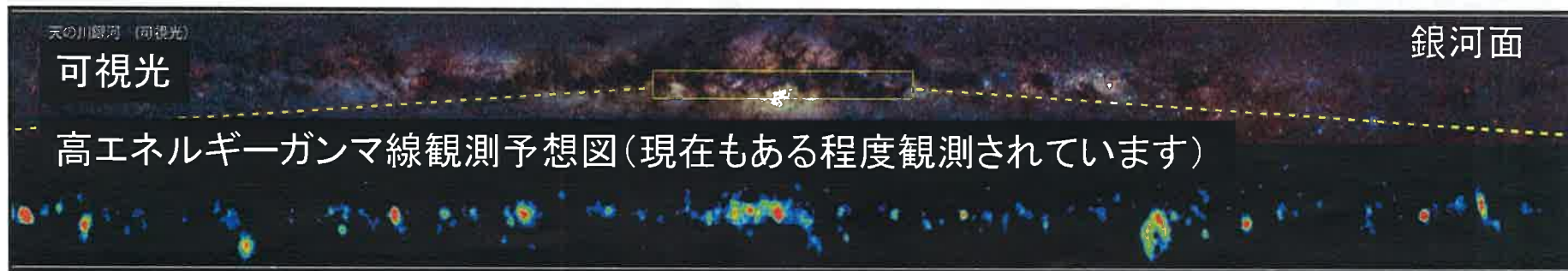
今までに観測された高エネルギーガンマ線源 (〜130天体)





# 目指すサイエンス:ガンマ線

- 宇宙線の起源の解明
- 銀河系内、系外の高エネルギー天体の研究
- 赤外・可視背景放射(宇宙の星形成史)の研究
- 暗黒物質対消滅からのガンマ線の探索
- 相対論(量子重力理論)の高精度検証





# 高エネルギーガンマ線観測計画

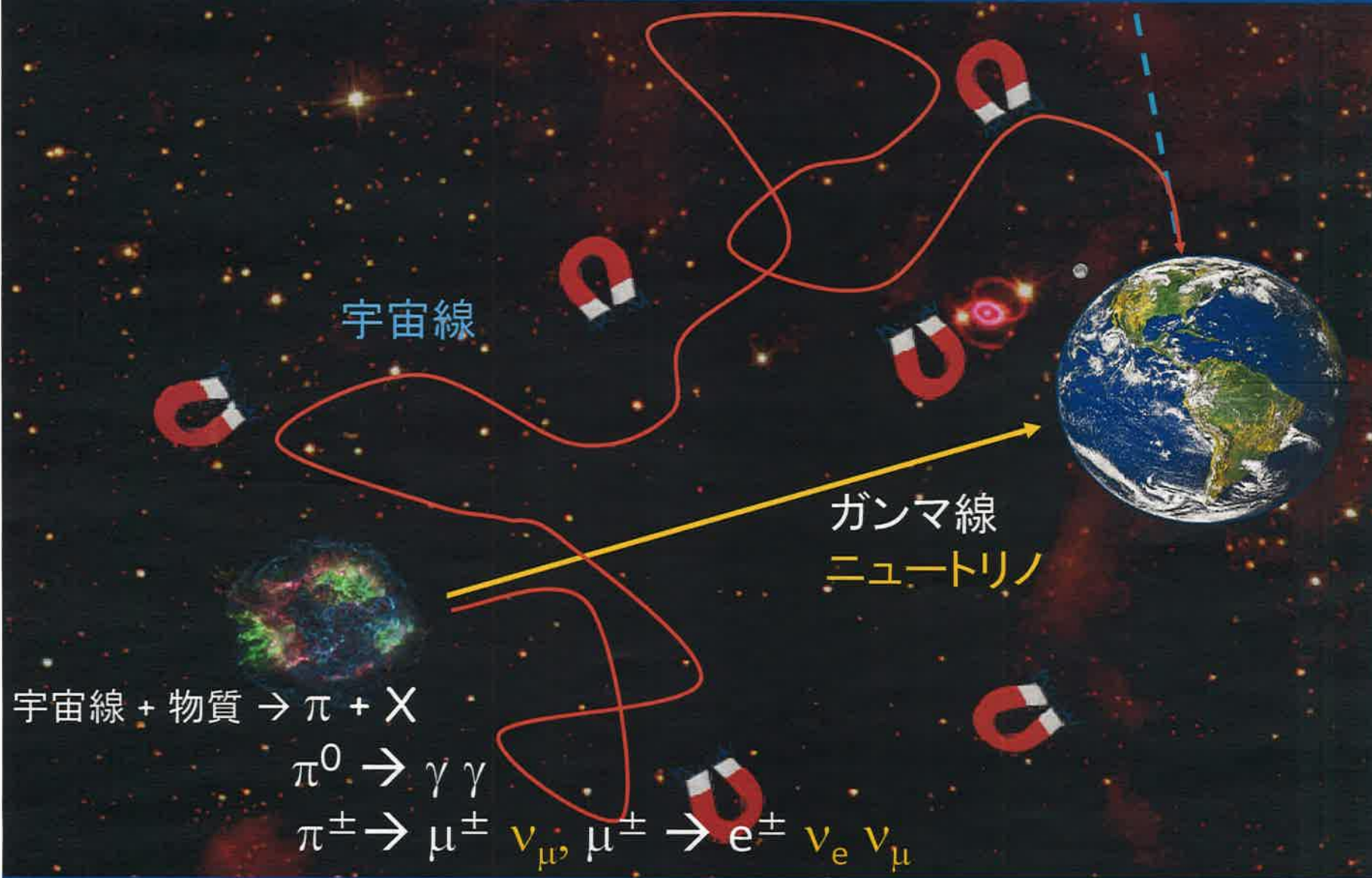
イメージ図

全世界で協力して観測所を作る計画

日本も参加を検討



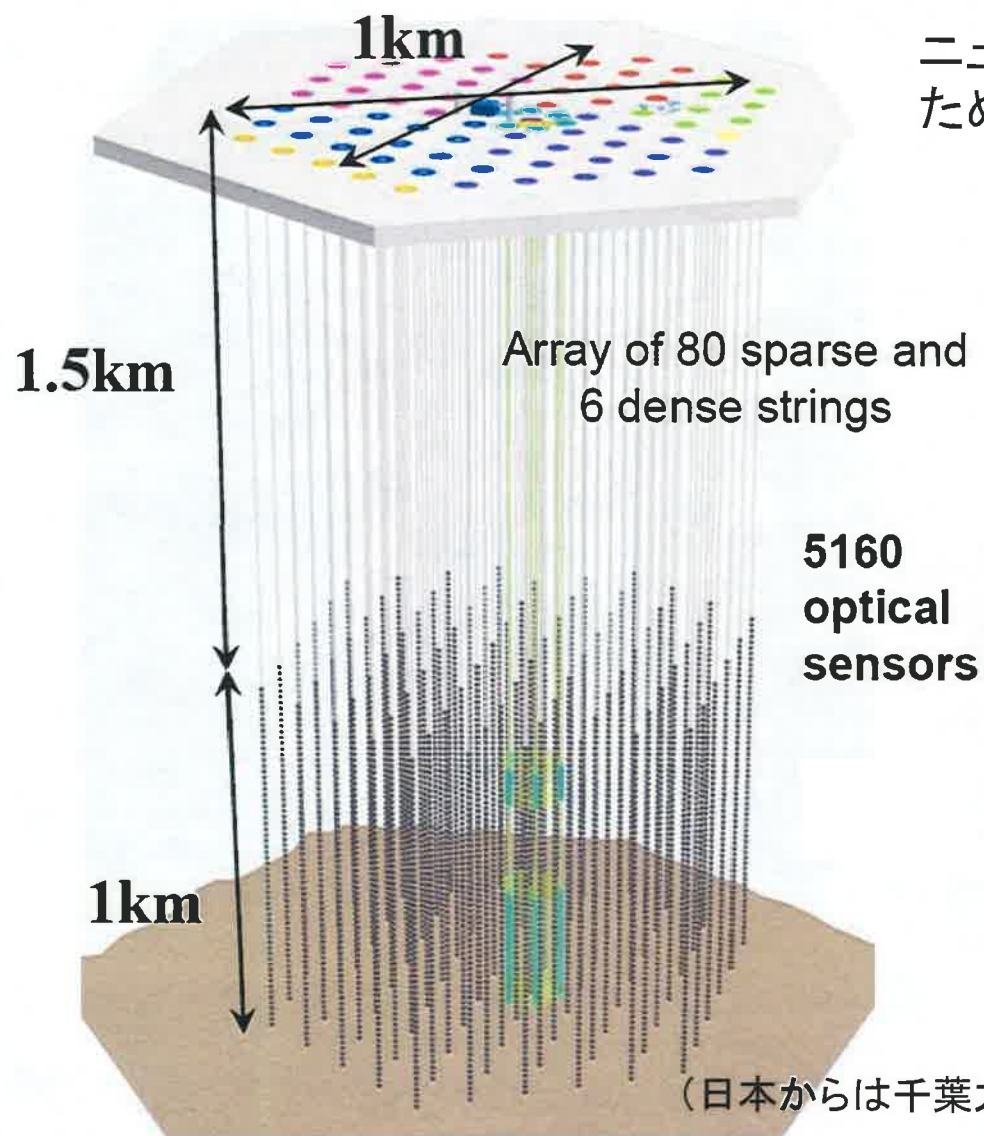
# 宇宙線がどこで作られたかを知りたい





# 宇宙ニュートリノ観測装置

ニュートリノは物質との相互作用が弱い  
ため、観測には大きい装置が必要...



# 宇宙ニュートリノ観測装置設置場所

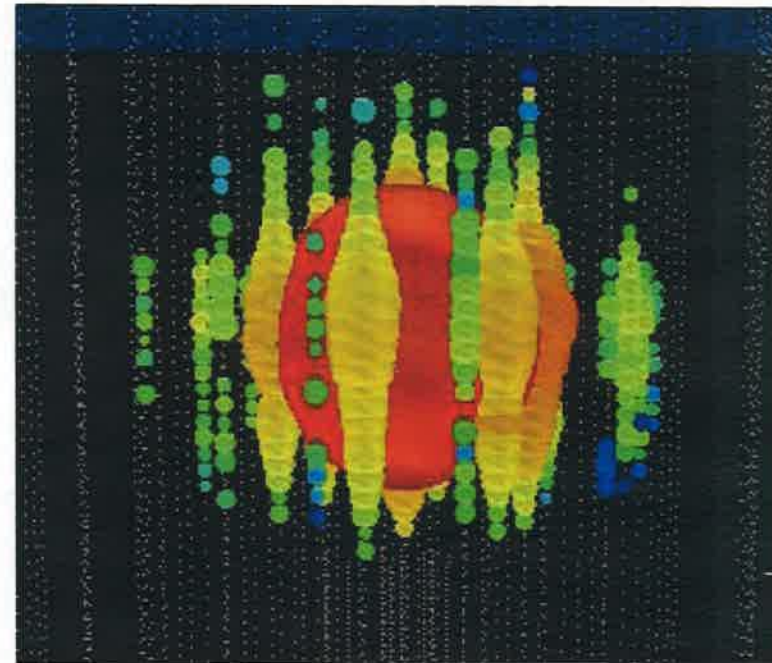
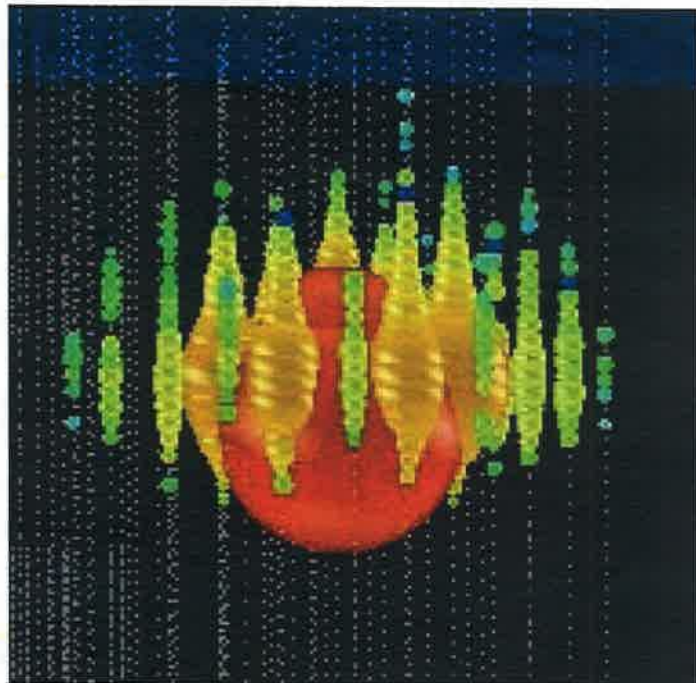




# 高エネルギー宇宙ニュートリノは見つかったか？

673 日の観測で；

Neutrino 2012 (A. Ishihara), &  
2012年11月24日 タウンミーティング(吉田滋)



- $10^{15}$  eV以上の事象が2例
- 大気ニュートリノのバックグラウンド予想値は0.06例
- → たまたまこの様な高エネルギーの(電子?)ニュートリノが観測される確率は0.16%!  
(残念ながらどこから飛来したか精度よくわからなそう。)

# 宇宙線がどこで作られたかを知りたい





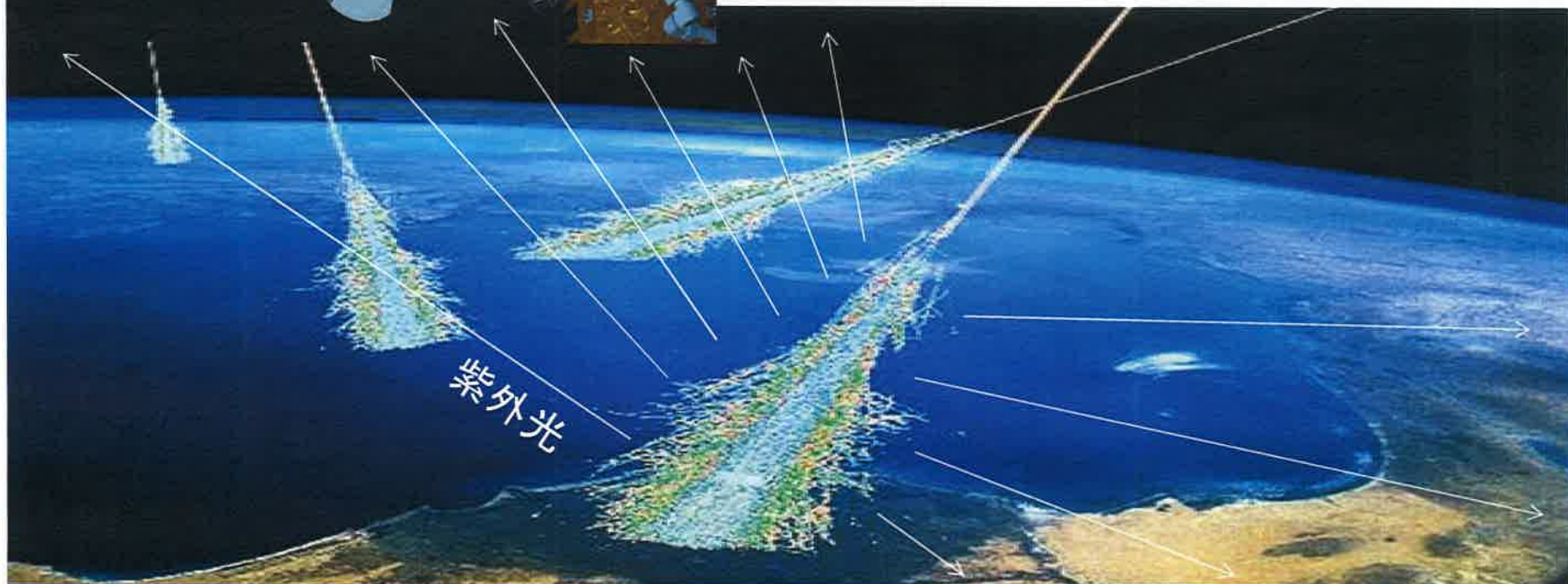
# 最高エネルギー宇宙線観測：将来の可能性

国際宇宙ステーションに観測装置を取り付けて観測する国際共同研究計画

現状：天空から完全に均一にきてないかもしれないと伺わせるデータが出始めています。

しかし、十分な精度で結果を出すには、現状の測定器では観測面積が小さすぎるかも。(北米：700km<sup>2</sup>, 南米：3000km<sup>2</sup>)

→ さらに大きな面積を観測する必要性



宇宙線発見から100年経って

# 光では観測できない 宇宙の姿をさぐる



# ニュートリノ宇宙観測のはじまり

超新星SN1987A

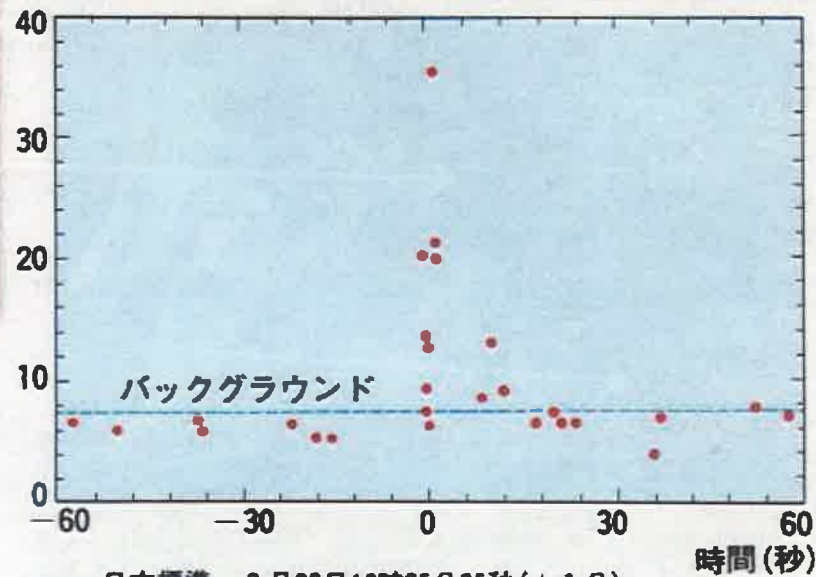


小柴昌俊先生



カミオカンデ3000トン  
水チェレンコフ測定器

二次電子のエネルギー (MeV)



日本標準 2月23日16時35分35秒(±1分)

世界初の太陽系外からのニュートリノの観測。超新星爆発のメカニズムの解明

# なぜニュートリノが大切なのです？



光  
(星の表面を観測)

ニュートリノ  
(星の中心部から)

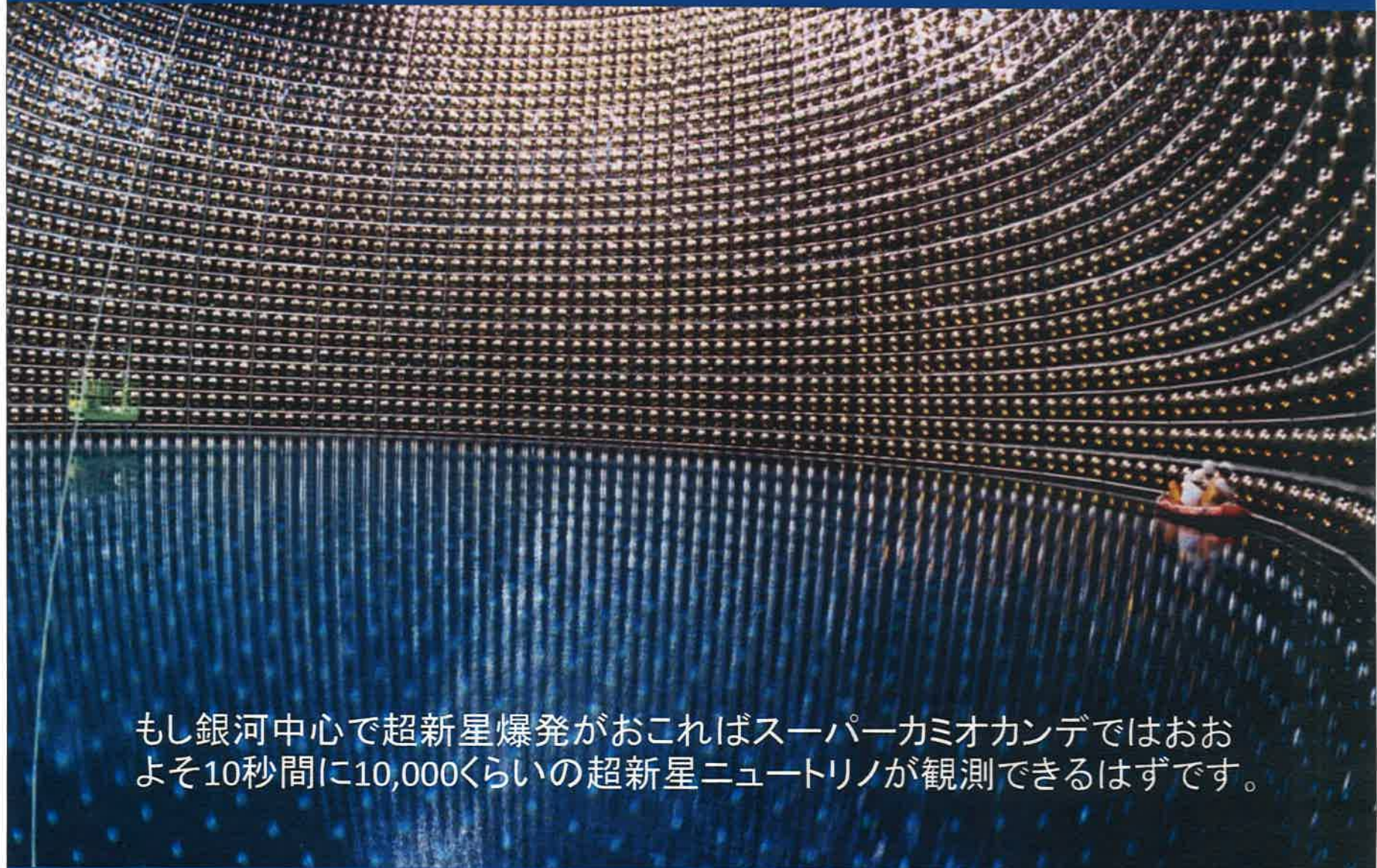
超新星爆発は巨大な星の中心部で起きている重力崩壊とその後の中性子星やブラックホールの形成。

これを見るには、ニュートリノが(あるいは重力波も)必要。

超新星爆発のシミュレーションの例  
(パリテイ2006年7月号,p24)



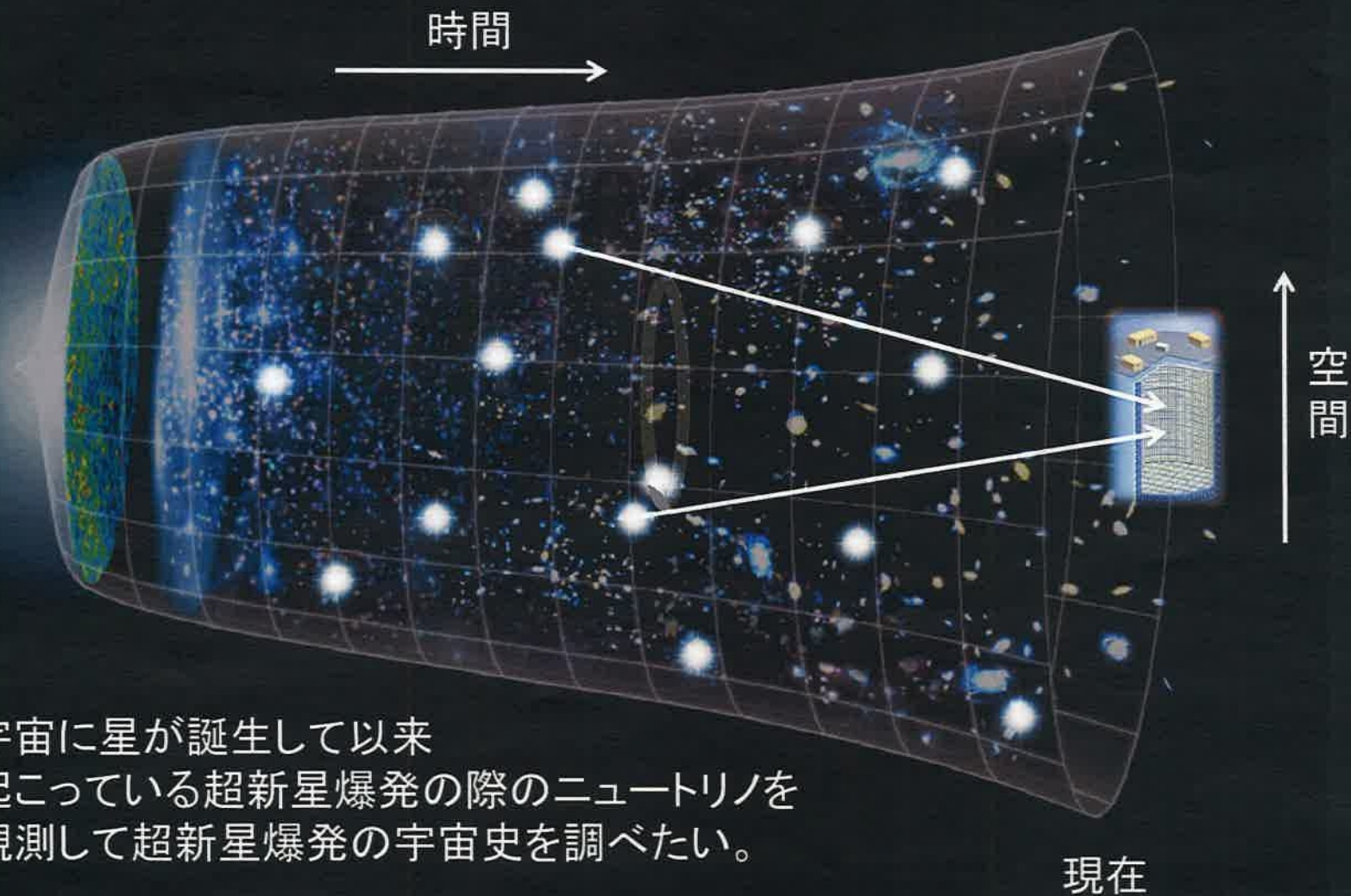
# ニュートリノ観測装置：スーパーカミオカンデ



もし銀河中心で超新星爆発がおこればスーパーカミオカンデではおおよそ10秒間に10,000くらいの超新星ニュートリノが観測できるはずです。



# ニュートリノで昔の宇宙を探る

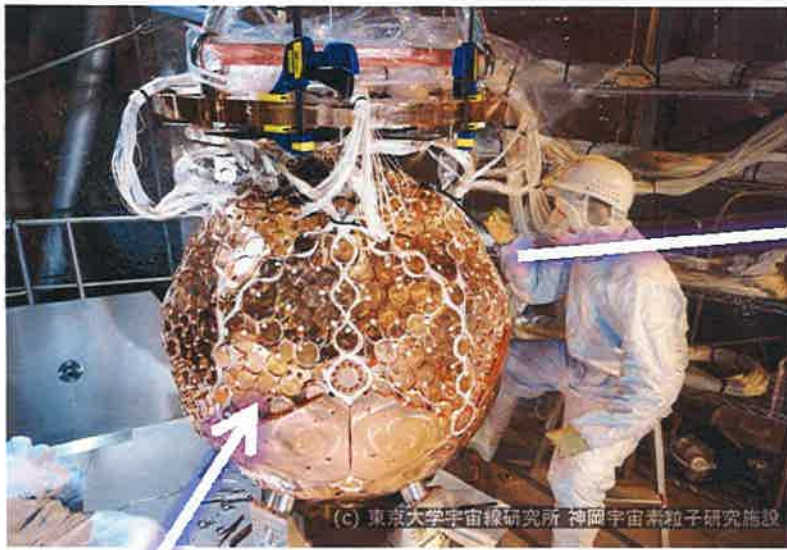


宇宙に星が誕生して以来  
起こっている超新星爆発の際のニュートリノを  
観測して超新星爆発の宇宙史を調べたい。



# ダークマターをとらえる

この宇宙で、我々の知る物質の5倍くらいの質量を占めるダークマター。でもその正体は不明です。

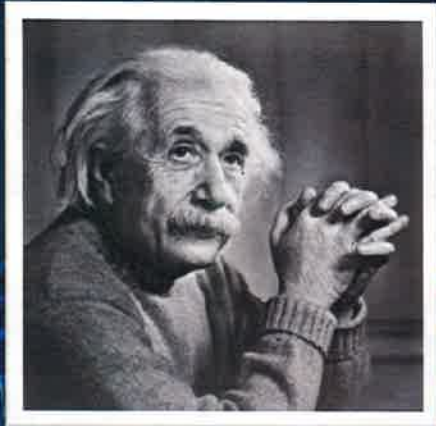


ダークマターとこの内部にある(液体)キセノン原子核の衝突で出た弱い光を観測してダークマターを検出します。

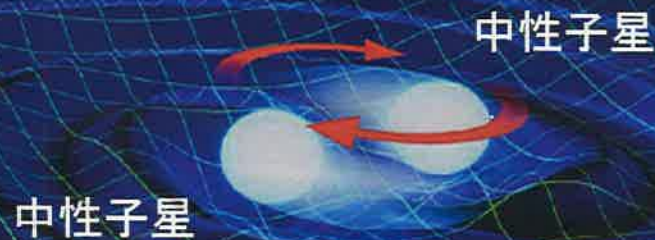




# 重力波をとらえる



アインシュタインはほぼ100年前、一般相対性理論によれば重力の波(空間が歪み伸び縮みする)が真空中を伝わるはずだと、予言しました。



連星中性子星からの重力波放射のイメージ。やがて合体してブラックホールになると考えられています。このとき強い重力波が発生します。

# 観測が難しい重力波



1億5000万km



もし、年間10回くらい重力波を観測したいなら、重力波が地球と太陽の間を通過したとき、この間の距離が  $10^{-8}$ cm くらい(おおよそ水素原子1個分)変化する小さい信号を観測しないといけません。

重力波プロジェクトでは、このような極微の空間の伸び縮みを計測して、重力波の観測をめざします。

(ちなみに、次のページで述べるように、重力波の観測装置の大きさは長さが3kmしかないので、3km間で空間が  $10^{-16}$ cm くらい伸び縮みするのを測定しなくてはなりません。)



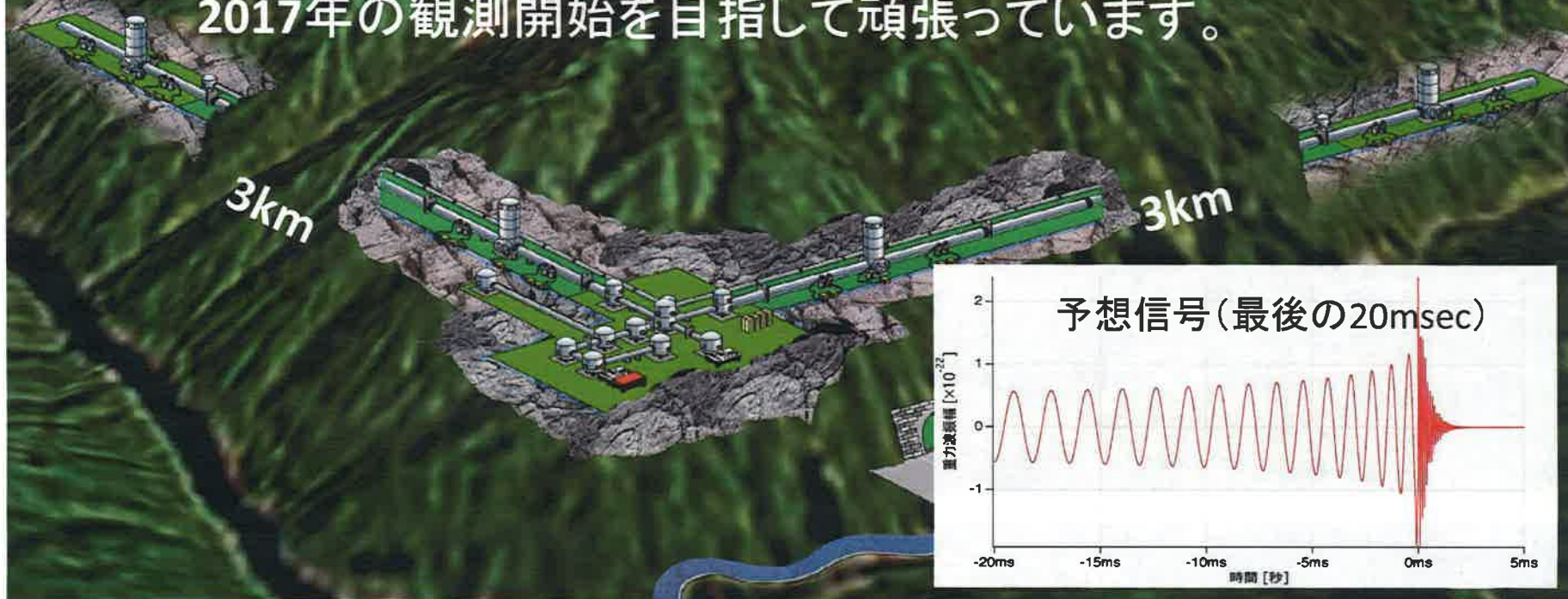
# 重力波を観測したい！

## 大型低温重力波望遠鏡(KAGRA)



空間が重力によってゆらぐことを観測したい  
ブラックホールができる瞬間を観測したい  
重力波で天文学をしたい

2017年の観測開始を目指して頑張っています。



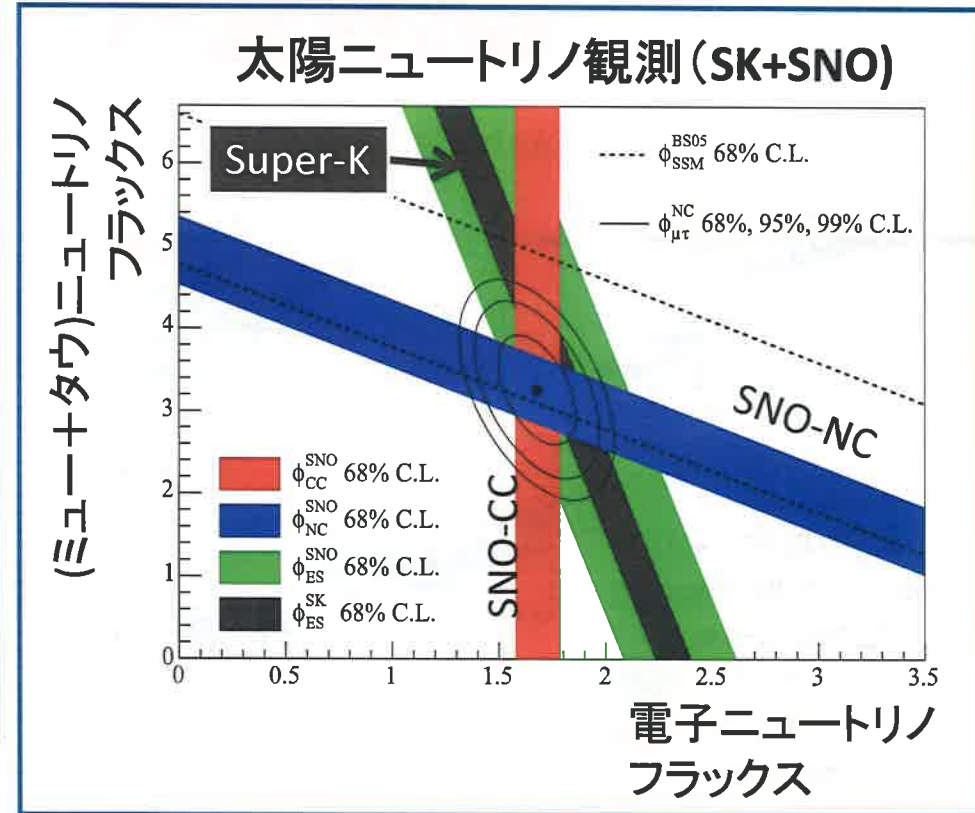
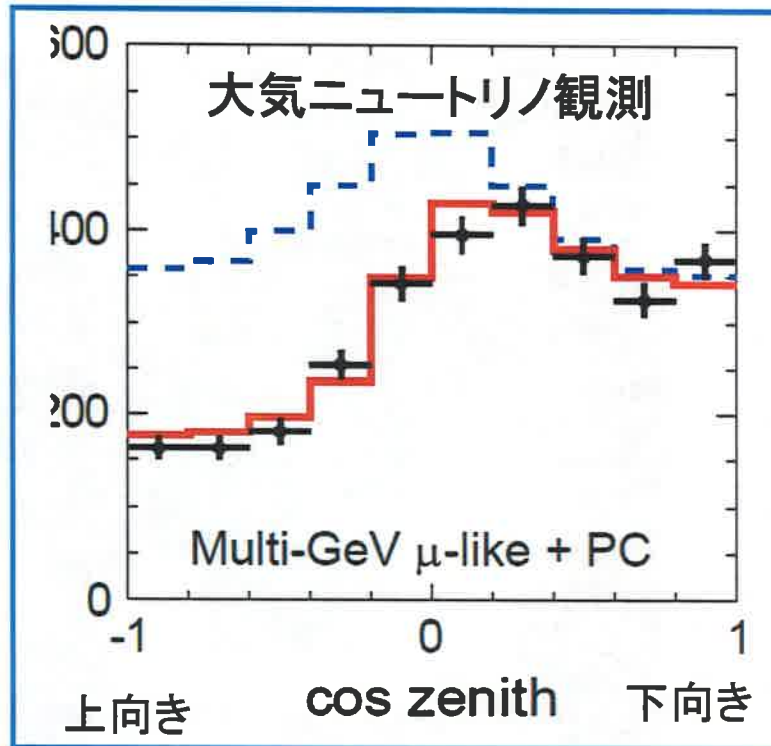
# 宇宙線を利用して



# スーパーカミオカンデでの宇宙線を利用した研究

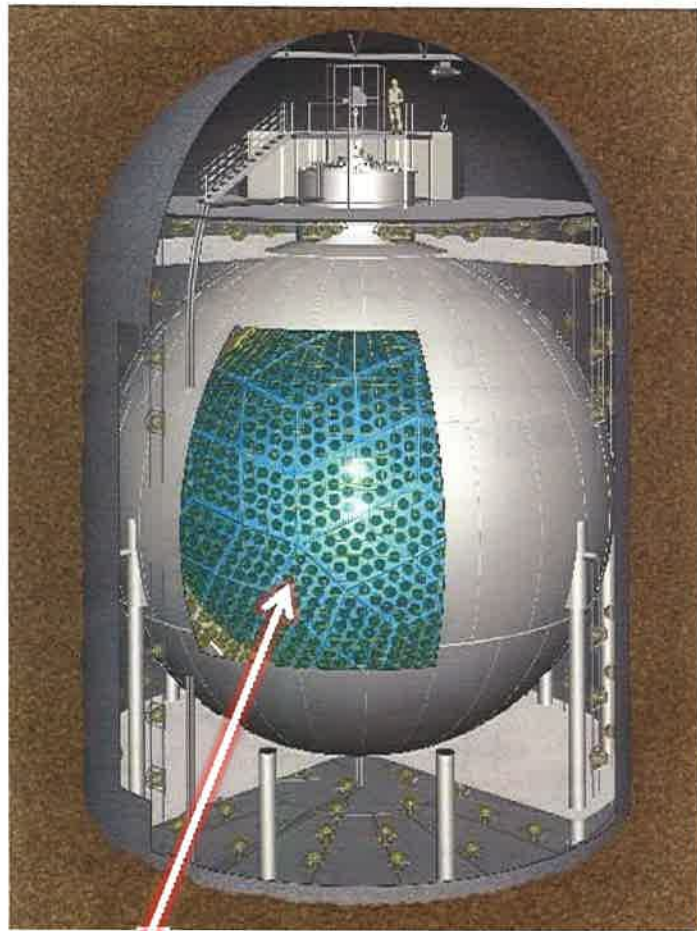


# スーパーカミオカンデでの宇宙線を利用した研究

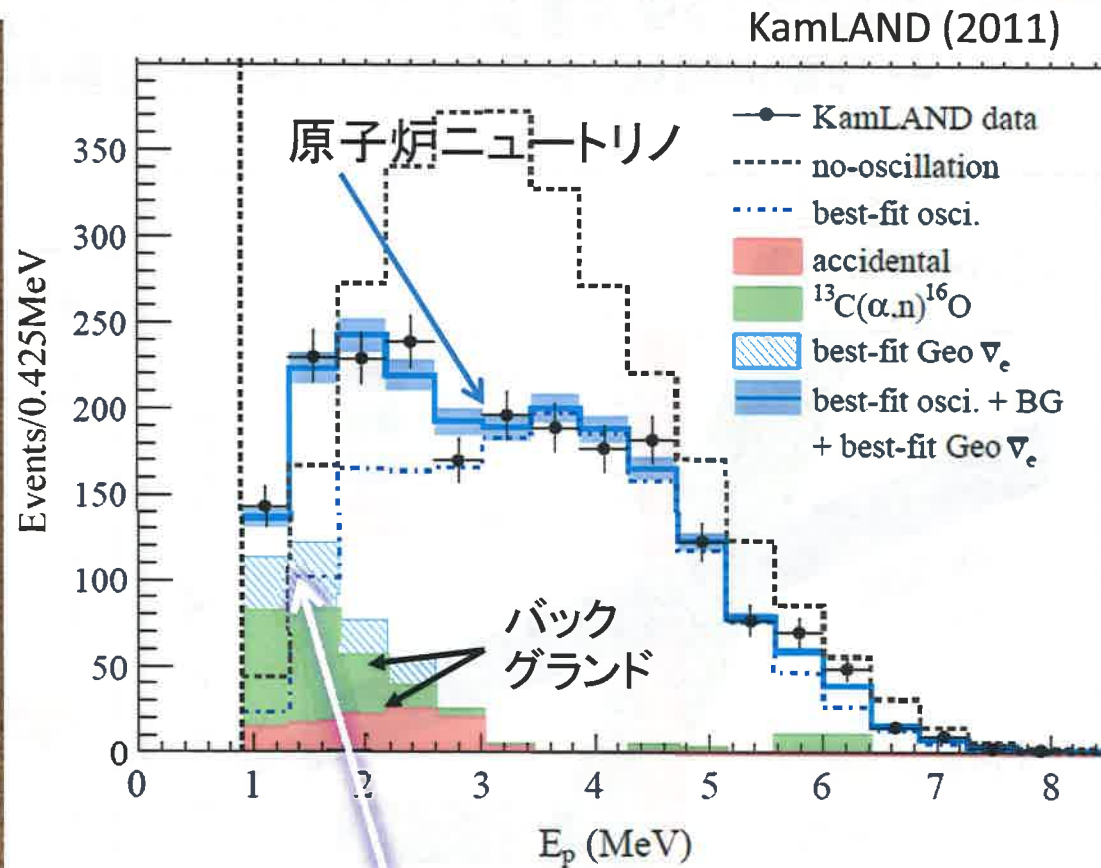


これらの観測から;  
 ニュートリノが飛行中に別な種類のニュートリノになる $\rightarrow$  (時間が進む $\rightarrow$   
 ニュートリノの速度は光より遅い $\rightarrow$ ) ニュートリノに質量があることがわかった。

# 同様の技術を利用して:カムランド



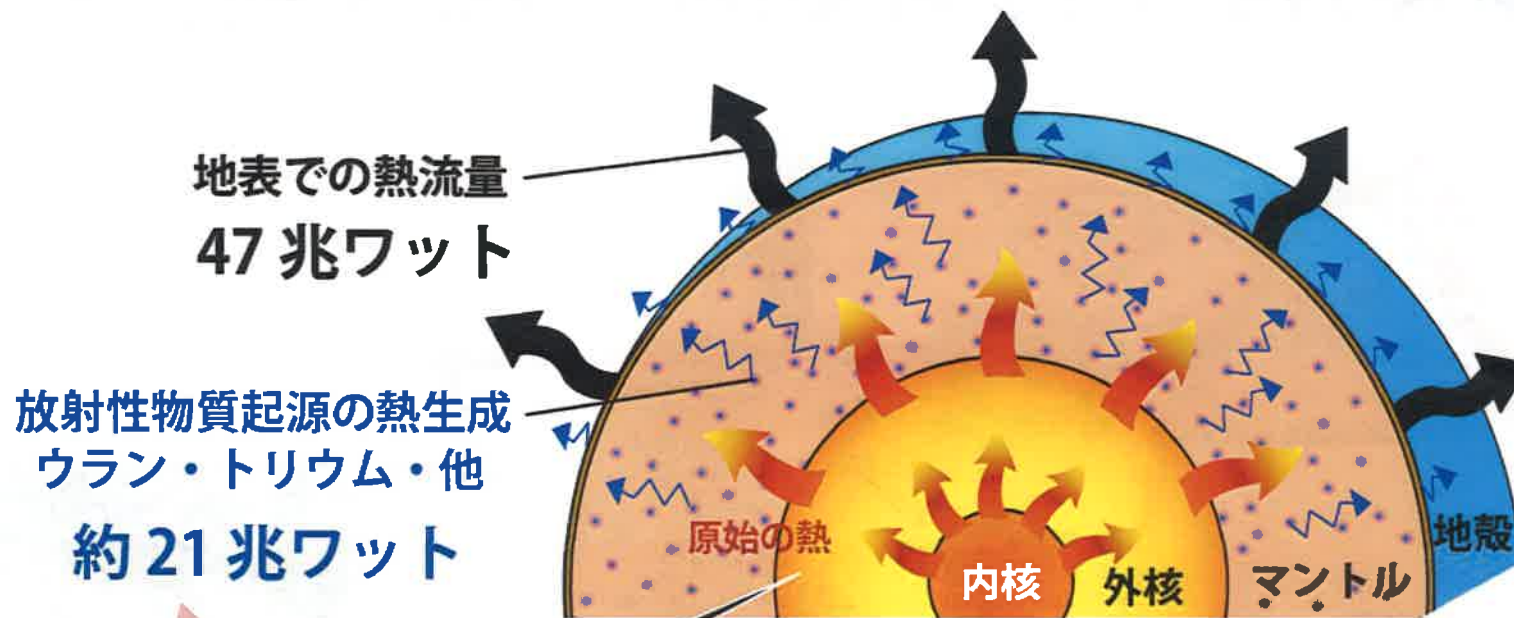
1000トン液体シンチレータ測定器



地球ニュートリノ



# 地球ニュートリノ



カムランドの  
測定から

地球形成時の熱は残存していた

地表での熱流量の  
全てが放射性物質  
起源ではないことを  
示し、原始の熱が  
残存していることを  
示した。

祝 井上邦雄先生  
2012年度仁科記念賞受賞



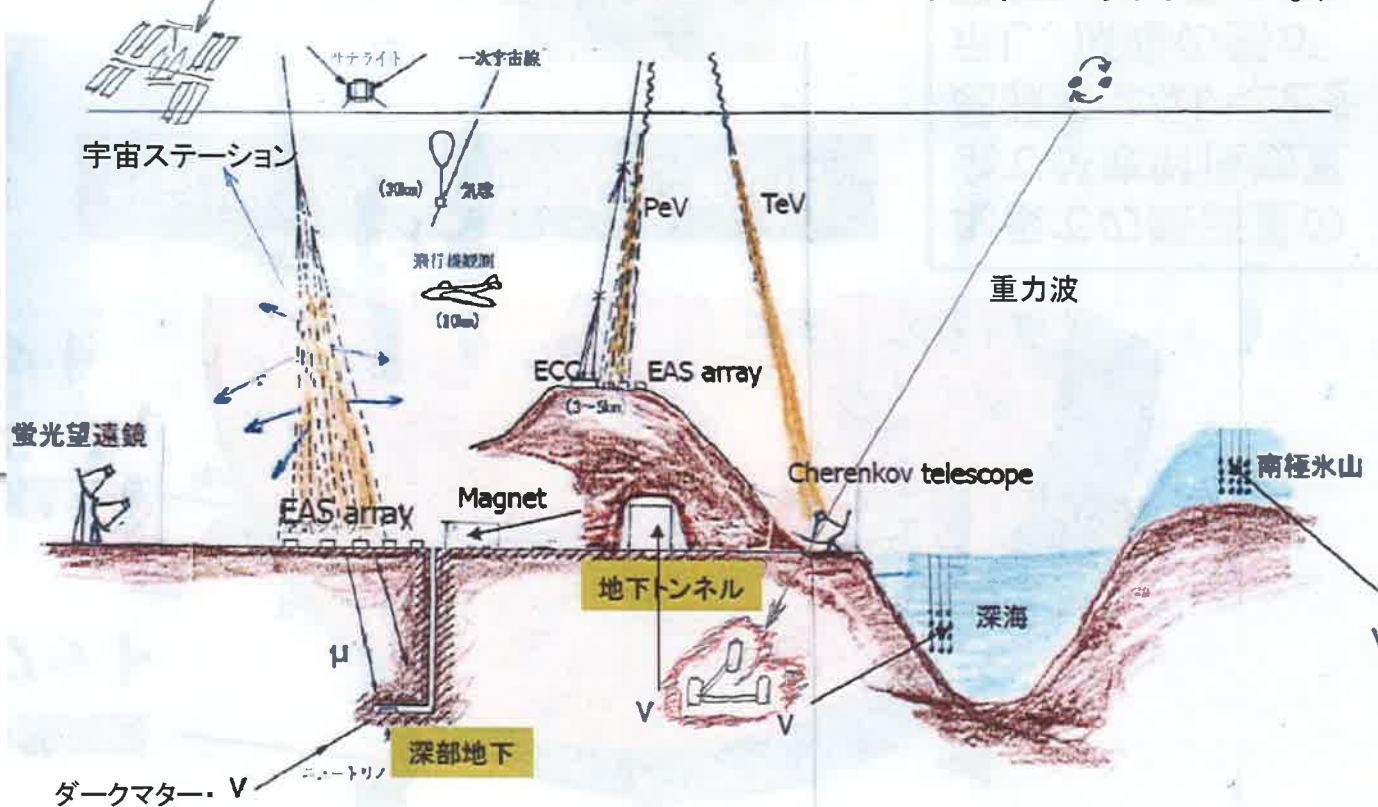


# まとめ：宇宙線発見から100年経って

V. Hess (1912)



永野元彦先生の示した絵(2012年秋の物理学会)  
に少し加えさせていただきました。(申しわけありません。)



発見から100年経って宇宙線研究は本当におもしろい時代！