

熱々のクォークスープと宇宙の始まり ー ビッグバン直後の物質に迫る ー



初田哲男（東京大学・理学系研究科）

物理学：物質と宇宙の成り立ちを解明する学問

- 物質は何から出来ているのか？
- 物質はいつ生まれたのか？
- 宇宙はどのように始まり、現在の姿になったのか？

理論物理：湯川、朝永、南部、小林、益川...

実験物理：江崎、小柴...

計算物理：“スーパーコンピュータ”



ノーベル物理学賞化学賞
メダル(裏)

物理学の副産物

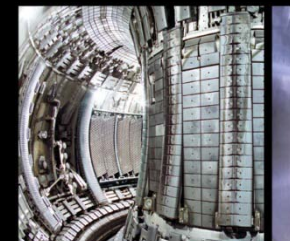
通信：携帯電話、カーナビ

医療：X線、MRI、PET

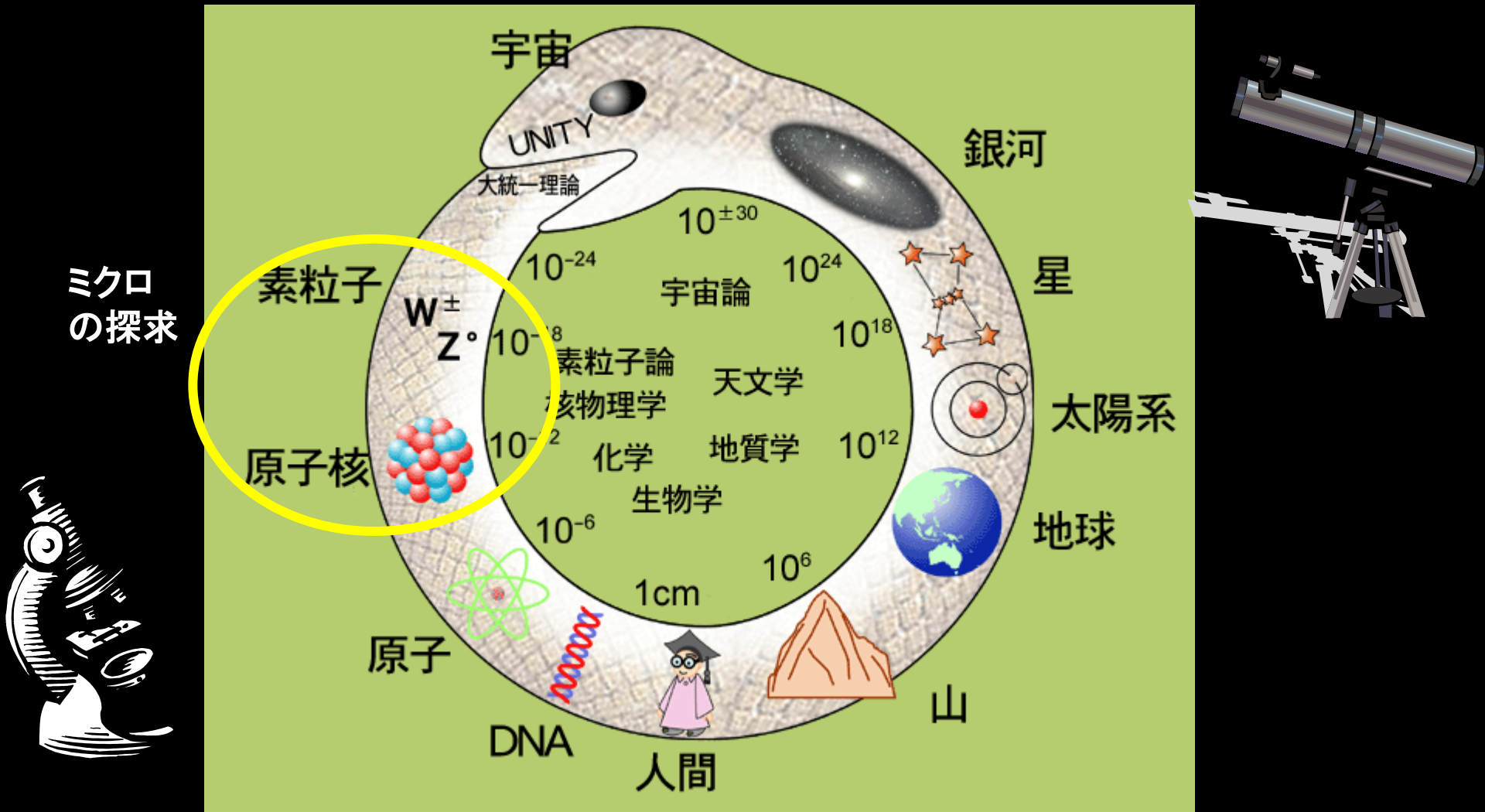
技術：半導体、コンピュータ、ウェブ

エネルギー：原子力、核融合

輸送：超伝導、リニアモーターカー



現代的宇宙観

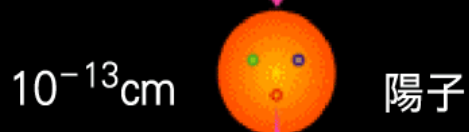


ウロボロス

物質は何から出来ているのか？



古代



20世紀初頭

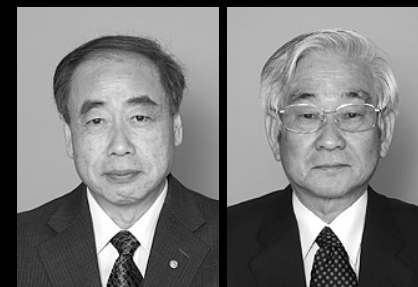
20世紀半ば

20世紀後半

21世紀

現在知られている物質粒子

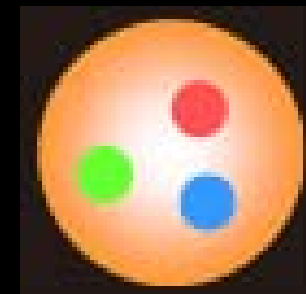
物質粒子			
	第1世代	第2世代	第3世代
クォーク	 アップ	 チャーム	 トップ
	 ダウン	 ストレンジ	 ボトム
レプトン	 eニュートリノ	 μニュートリノ	 τニュートリノ
	 電子	 ミューオン	 タウ



小林誠 益川敏英

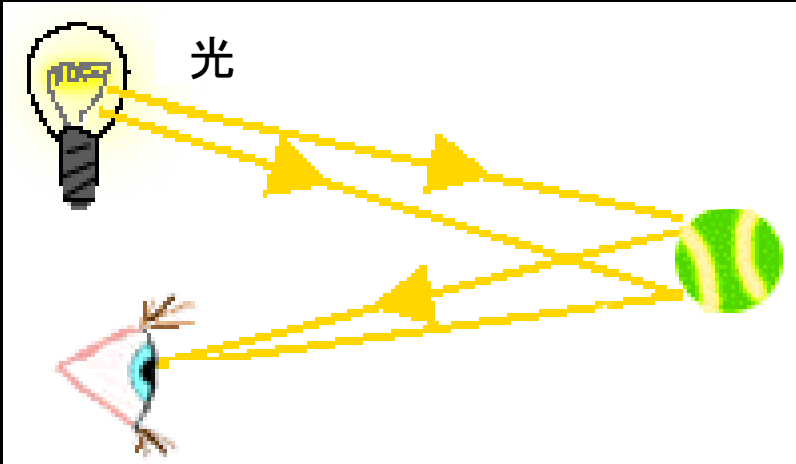


南部陽一郎

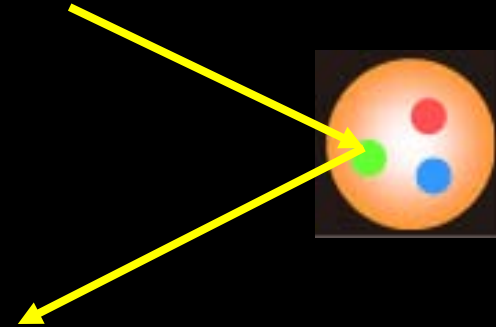


陽子

クォークを見る



電子線



陽子

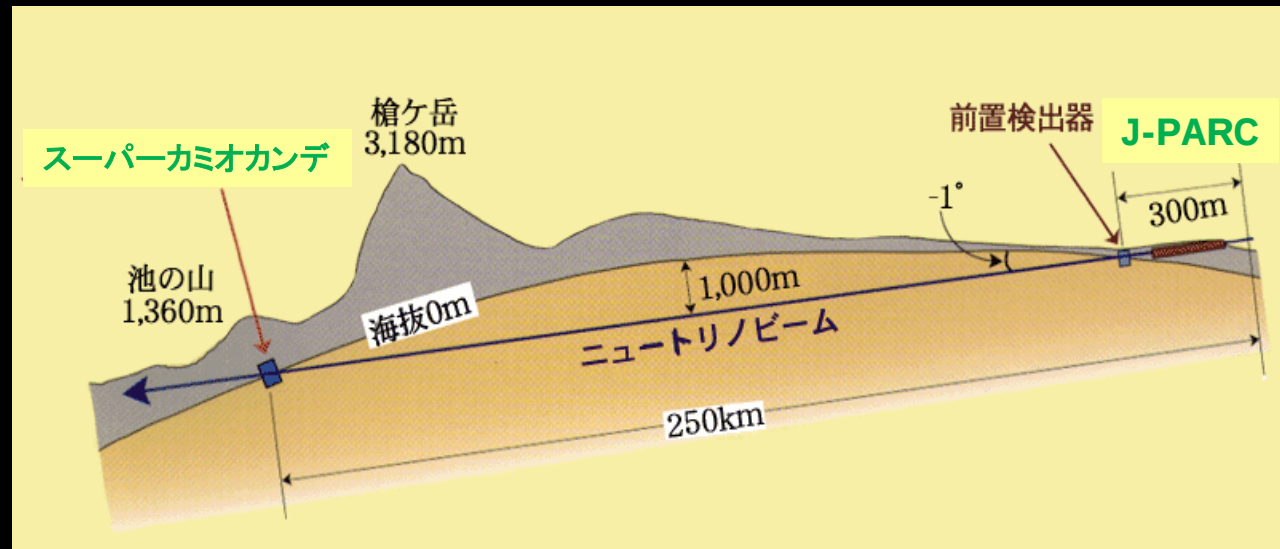
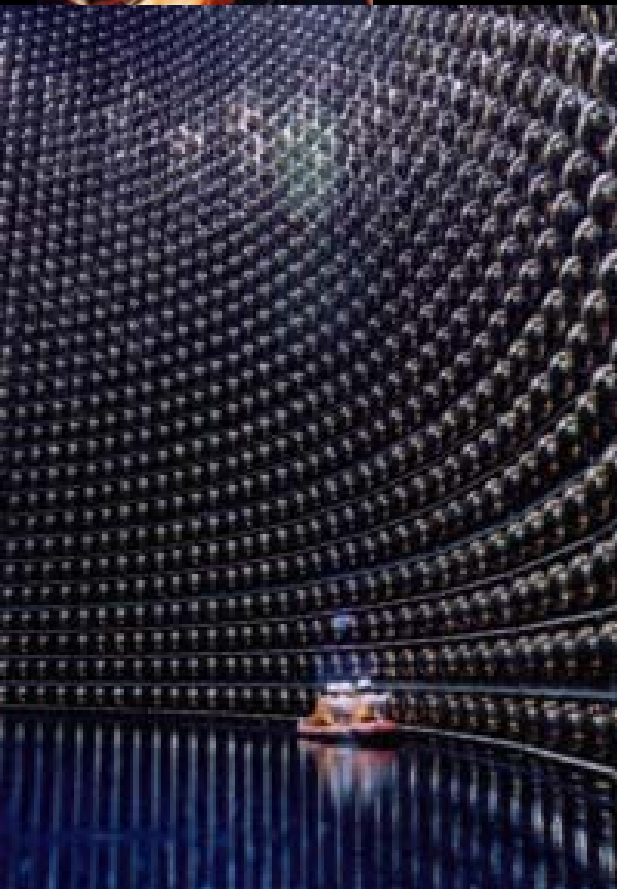


電子陽子衝突器
(HERA, 1992-2007)

ニュートリノを捕まえる



小柴昌俊



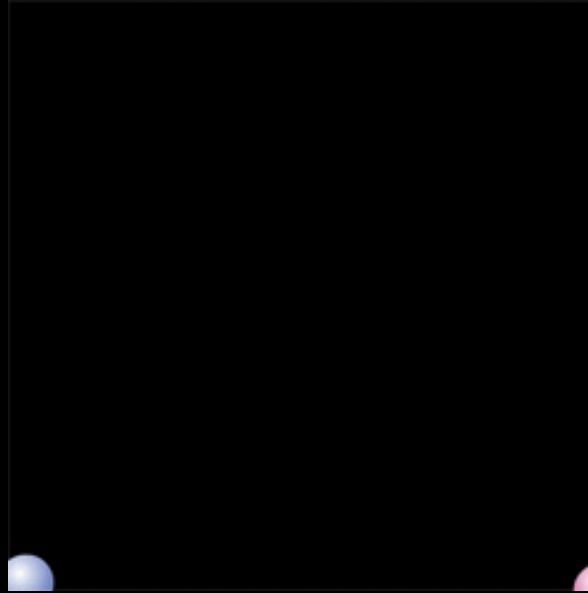
岐阜県
神岡町

茨城県
東海村

物質に働く“力”は、粒子の交換である

中間子論の提唱

湯川秀樹 (1907.1.23生)
(1947年ノーベル賞)



量子電気力学の完成

朝永振一郎 (1906.3.21生)
(1965年ノーベル賞)



$$\left\{ \Delta - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \lambda^2 \right\} \psi = 0,$$

湯川方程式

$$i\hbar \frac{\delta \Psi[C]}{\delta C_P}, H(P)\Psi[C]$$

朝永方程式

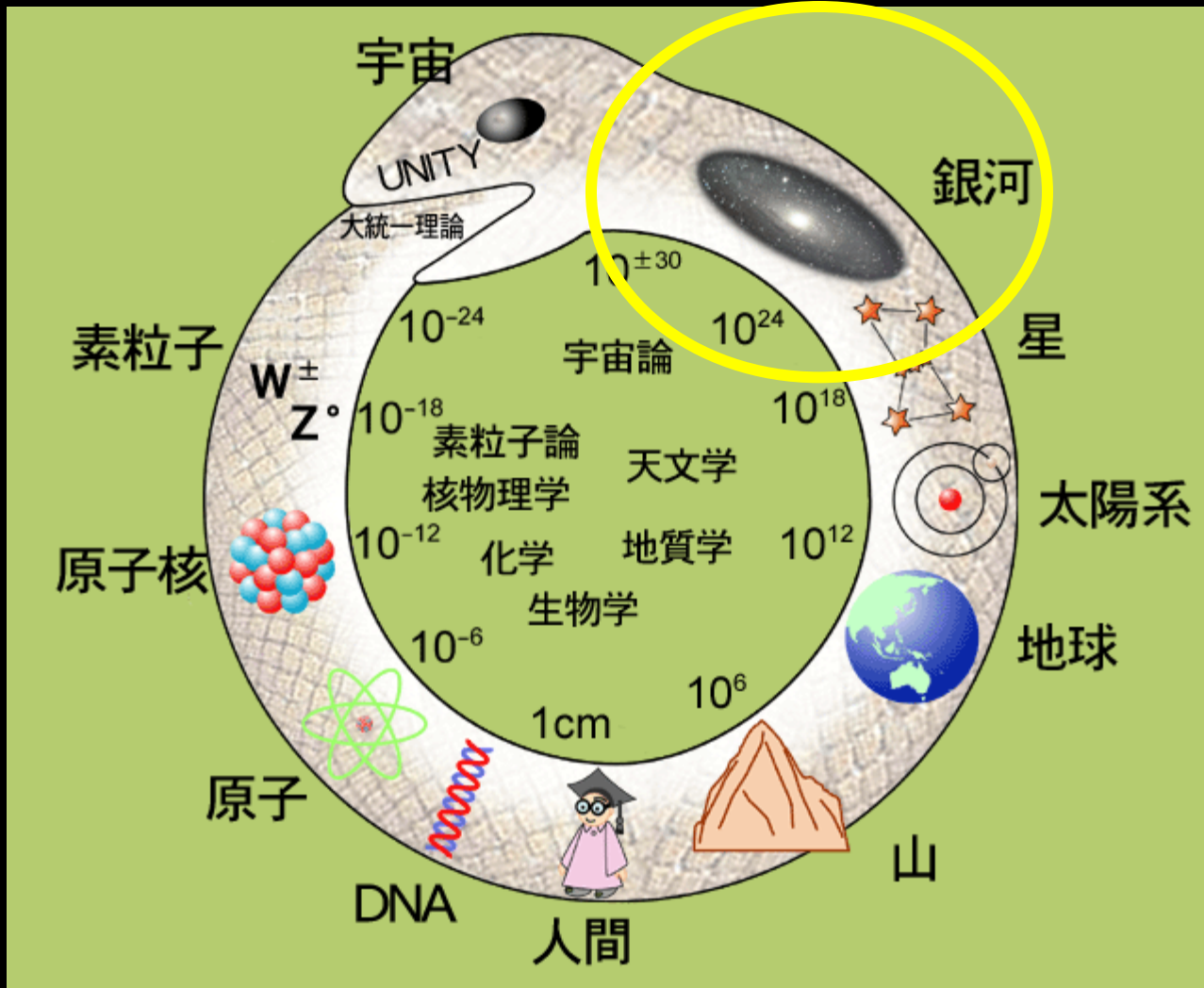
現在知られている物質粒子と力の粒子

物質粒子				ゲージ粒子	
	第1世代	第2世代	第3世代	強い力	
クォーク	 アップ	 チャーム	 トップ	 グルーオン	
	 ダウン	 ストレンジ	 ボトム		
レプトン	 eニュートリノ	 μニュートリノ	 τニュートリノ	電磁力	
	 電子	 ミューオン	 タウ	 光子	
				弱い力	
				 W ボゾン	 Z ボゾン
				 Z ボゾン	
				 ヒッグス粒子	

未発見！

現代的宇宙観

マクロの探求



宇宙の誕生と進化

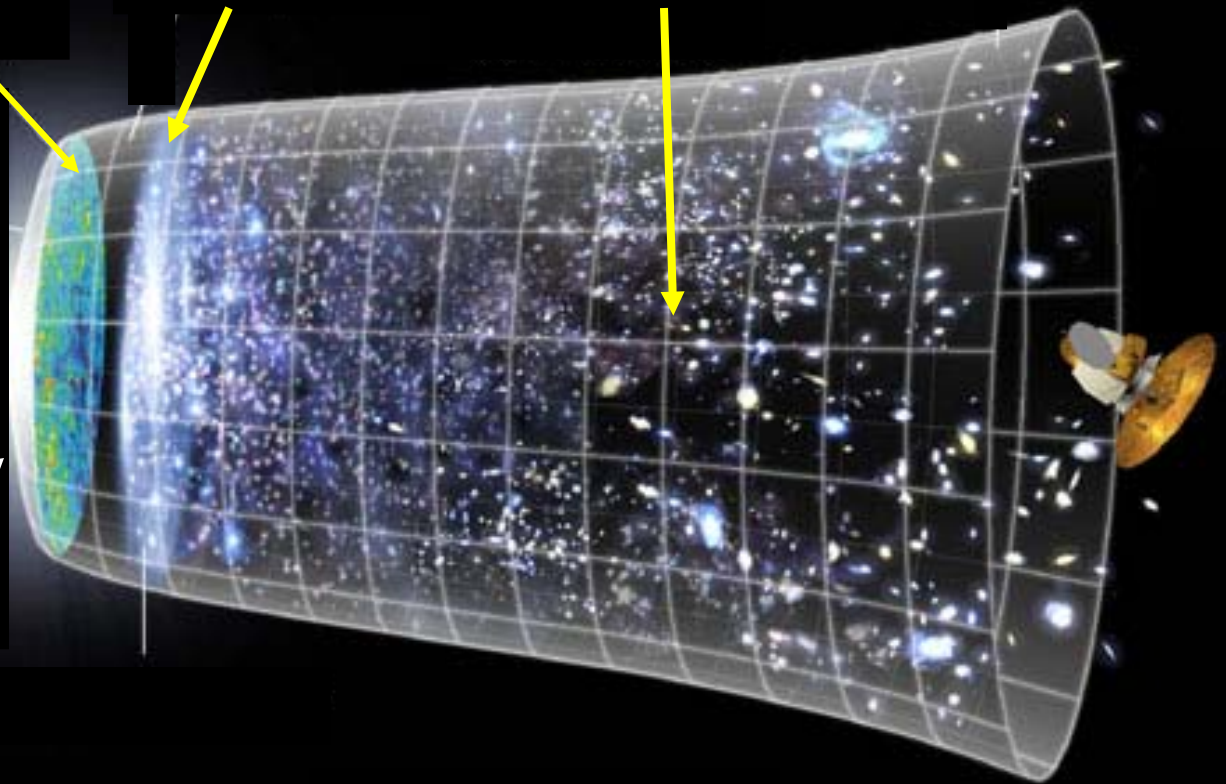
原子の誕生
約38万年

星の誕生
約3億年

太陽系の誕生
約91億年

ビッグバン

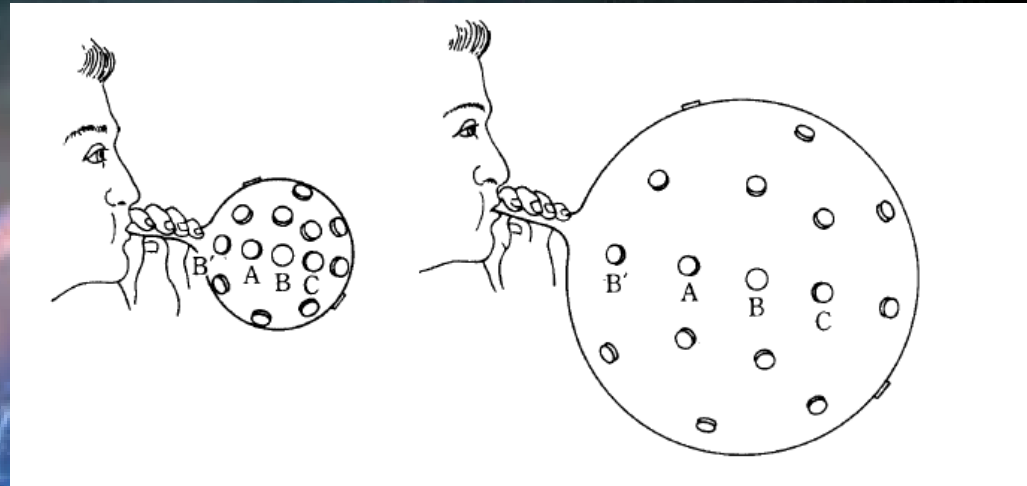
熱々のクオークスープ
時間：0.0001 秒
温度：1兆度



現在
137億年

宇宙は膨張している ハッブルの法則

326万光年(1メガパーセク)先で
秒速約 70 キロメートルの速度



エドウィン・ハッブル(1889-1953)

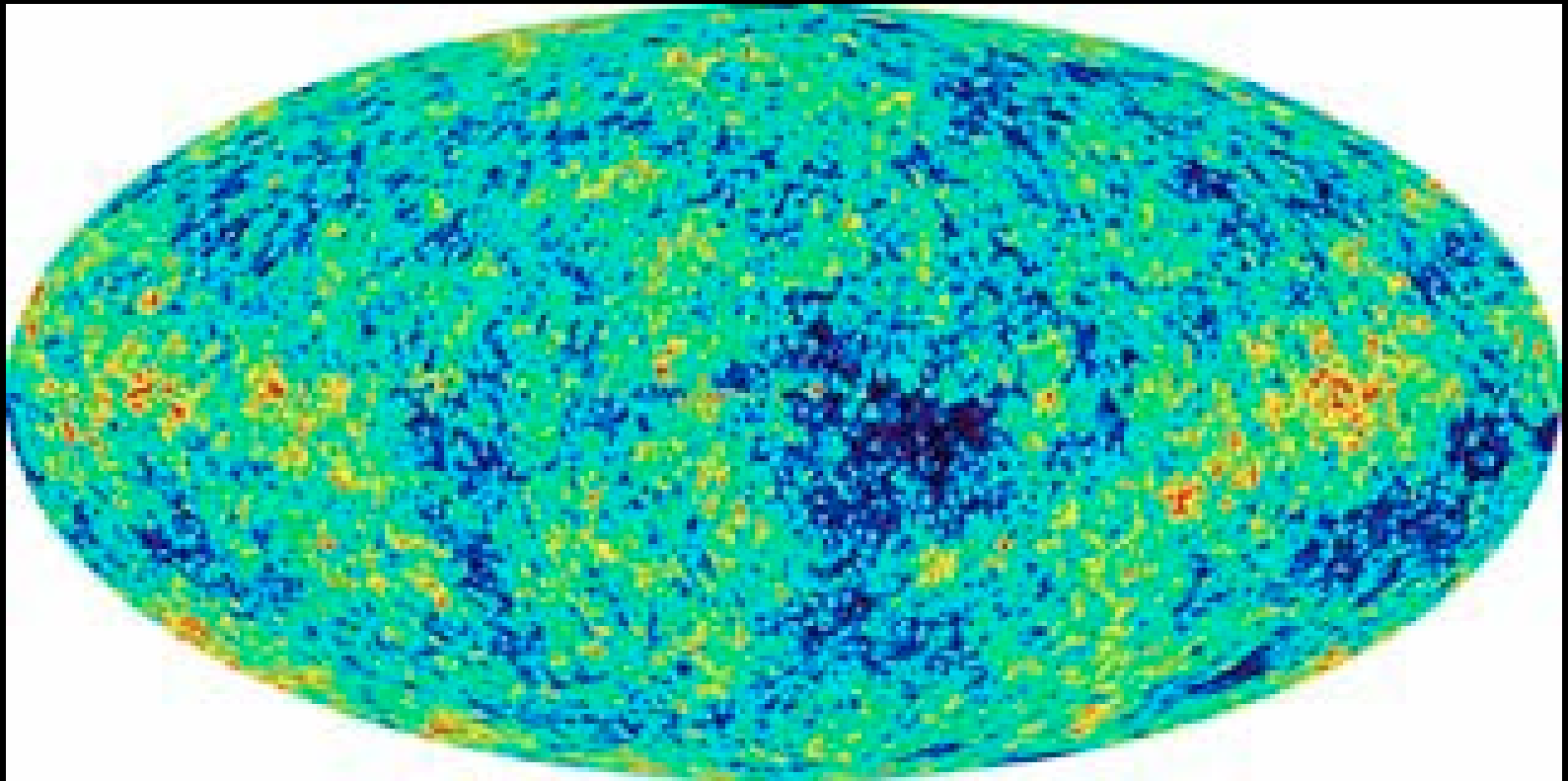
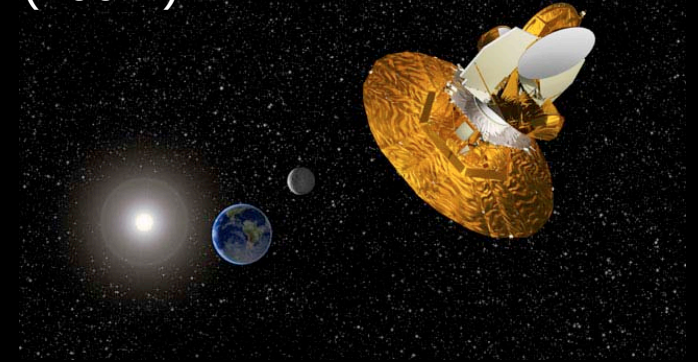


ハッブル宇宙望遠鏡 (1990-)

宇宙の温度

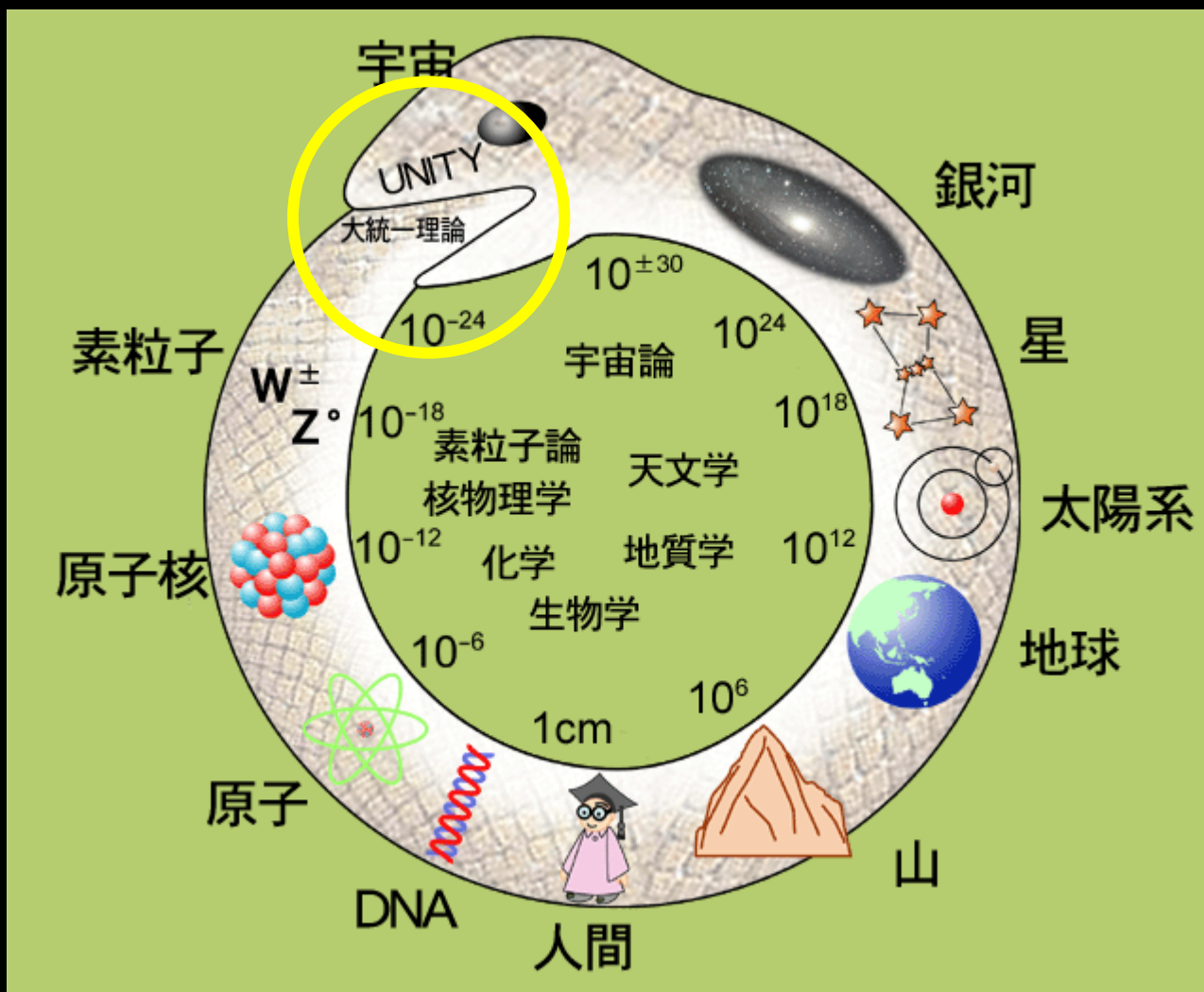
COBE 衛星 (1989-1993) 2006年ノーベル賞
WMAP 衛星 (2001-)

温度 : 2.725 K
揺らぎの程度 : 0.0001 K



WMAP(2003)

マイクロとマクロの接点： ビッグバンと物質創生

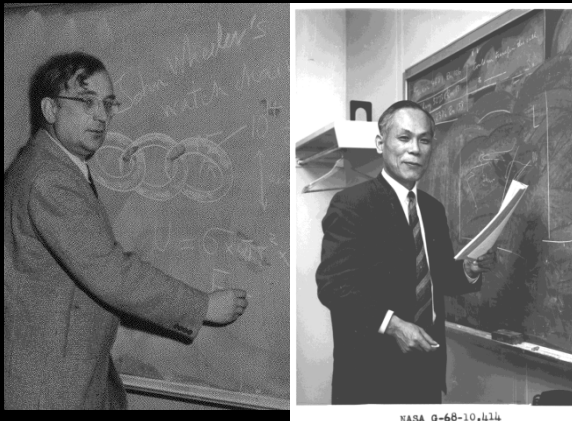


ビッグバン宇宙論

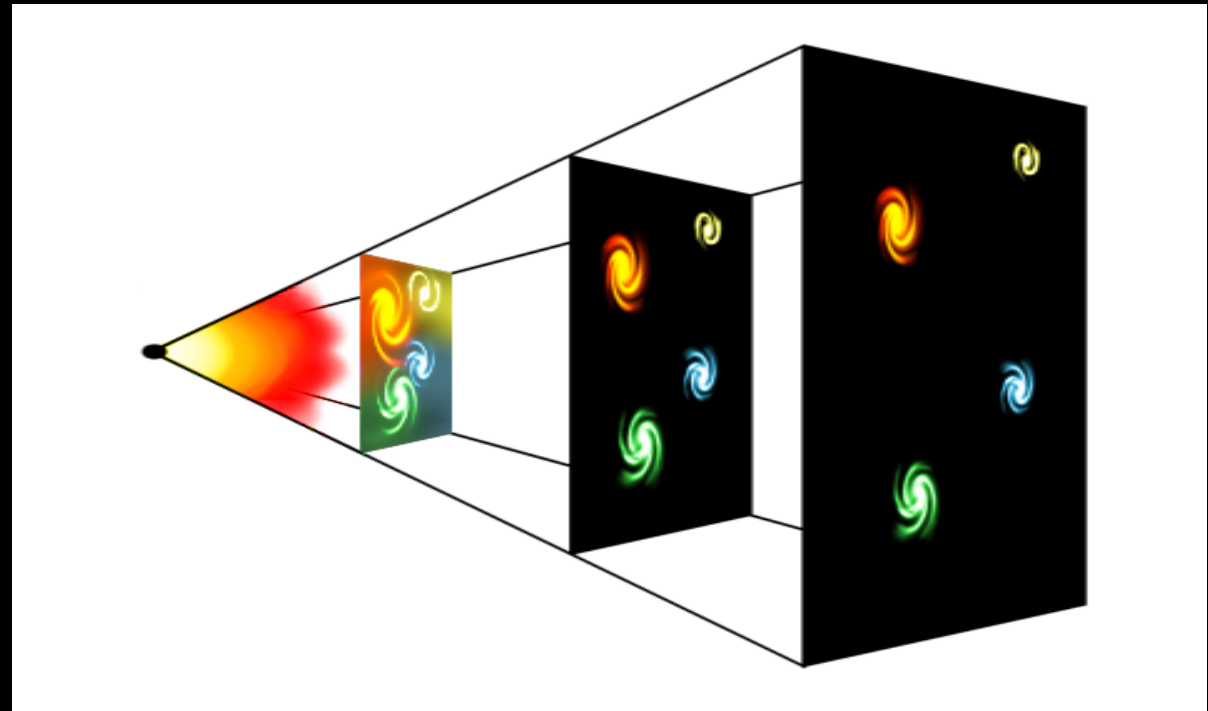
ハッブルの法則＋現在の宇宙温度＋現在の宇宙元素量

↓
アインシュタイン方程式

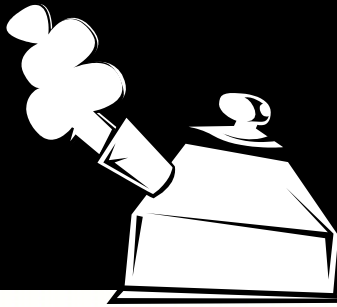
- 宇宙はビッグバン(高温の火の玉)で始まった
- 陽子・中性子は、0.0001秒間にクォークから合成された(温度1兆度)
- 元素(水素、ヘリウムなど)は3分間に陽子・中性子から合成された(温度1億度)
- 現在の宇宙年齢は137億年(温度3度)である



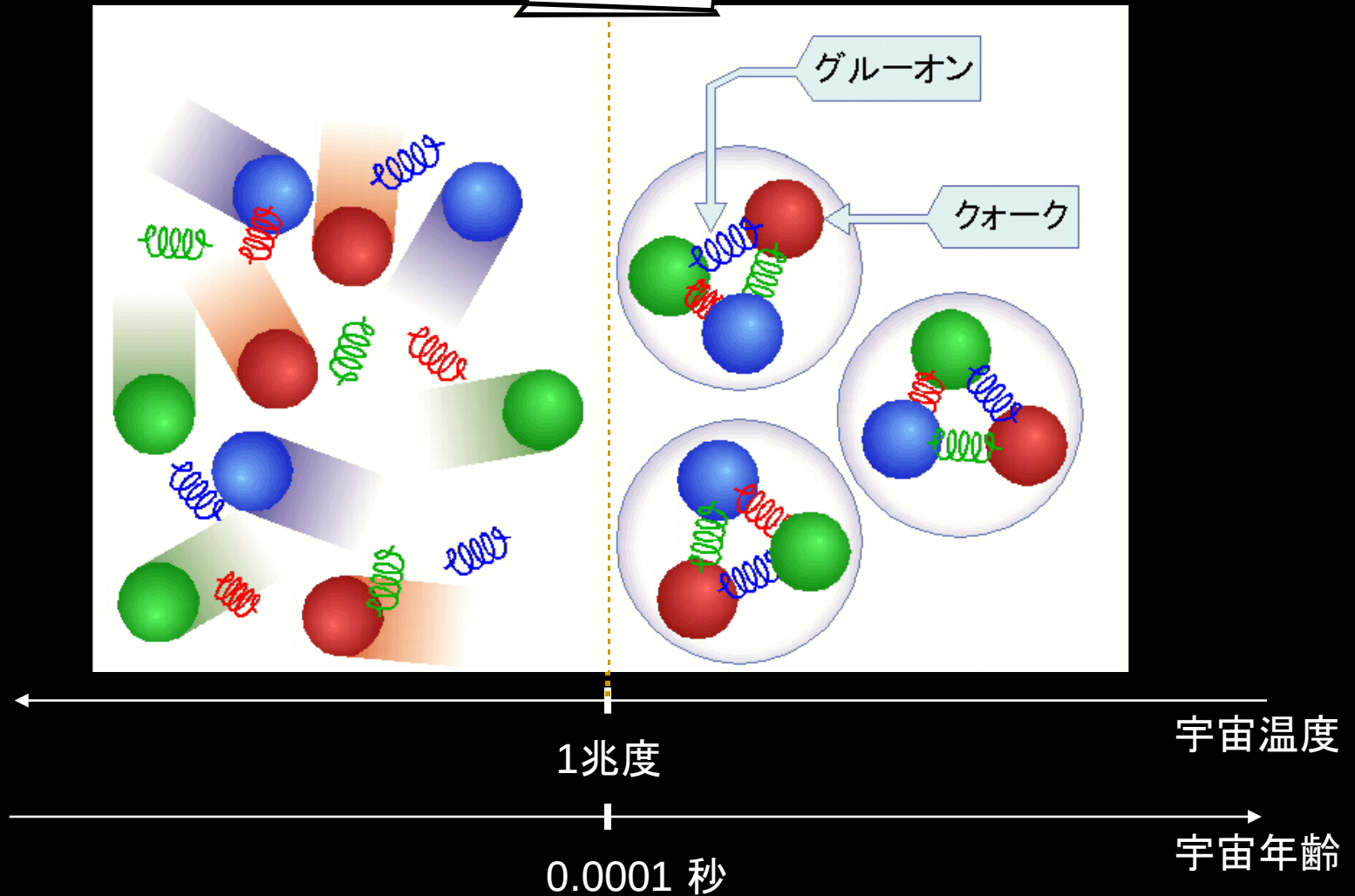
ジョージ・ガモフ 林忠四郎



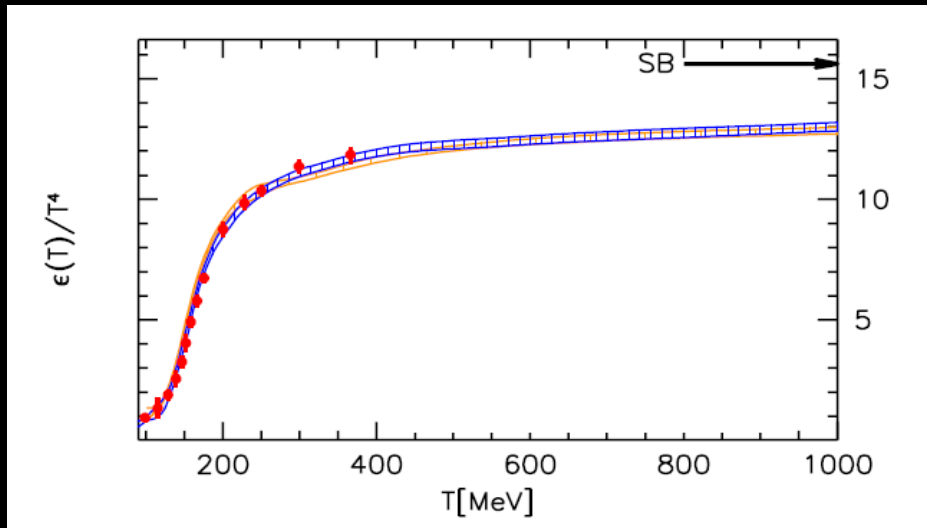
素粒子の高温世界 (クォーク・グルーオン・プラズマ)



原子核や原子の低温世界



○ 1兆度の根拠は？



スーパーコンピュータによる計算

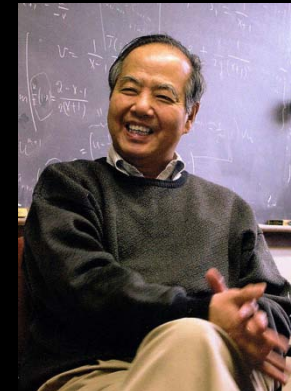


超並列コンピュータ PACS-CS
(筑波大学計算科学研究センター)

○ 実験室で1兆度をつくる？

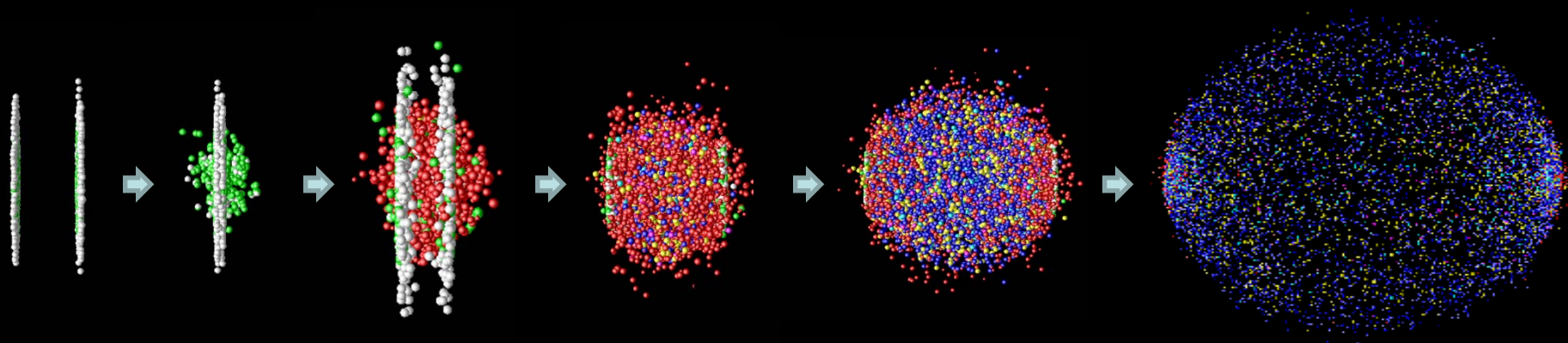


原子核を光速で正面衝突させる

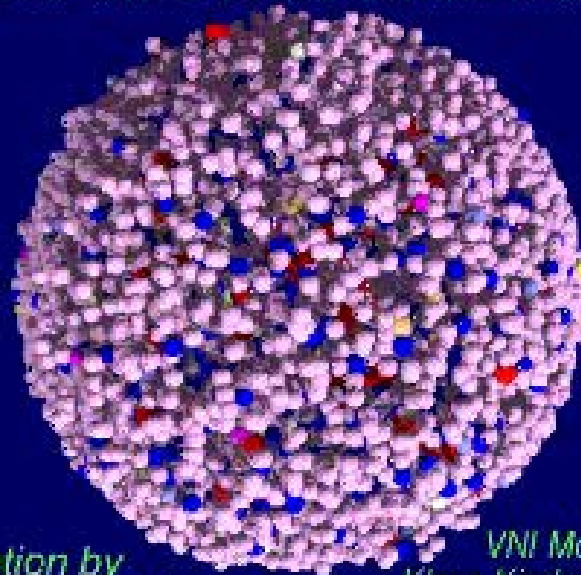


李政道
(1957年ノーベル物理学賞)

原子核を光速の99%で正面衝突させる ⇒ ミニ初期宇宙



A Gold-on-Gold Collision at RHIC



Animation by
Jeffery T. Mitchell

VNI Model by
Klaus Kinder-Geiger and
Ron Longacre



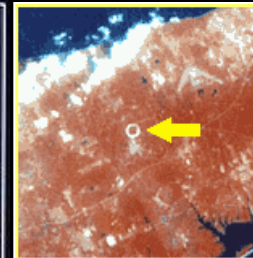
10^{-12} [cm]

1兆度の再現実験(2001-)



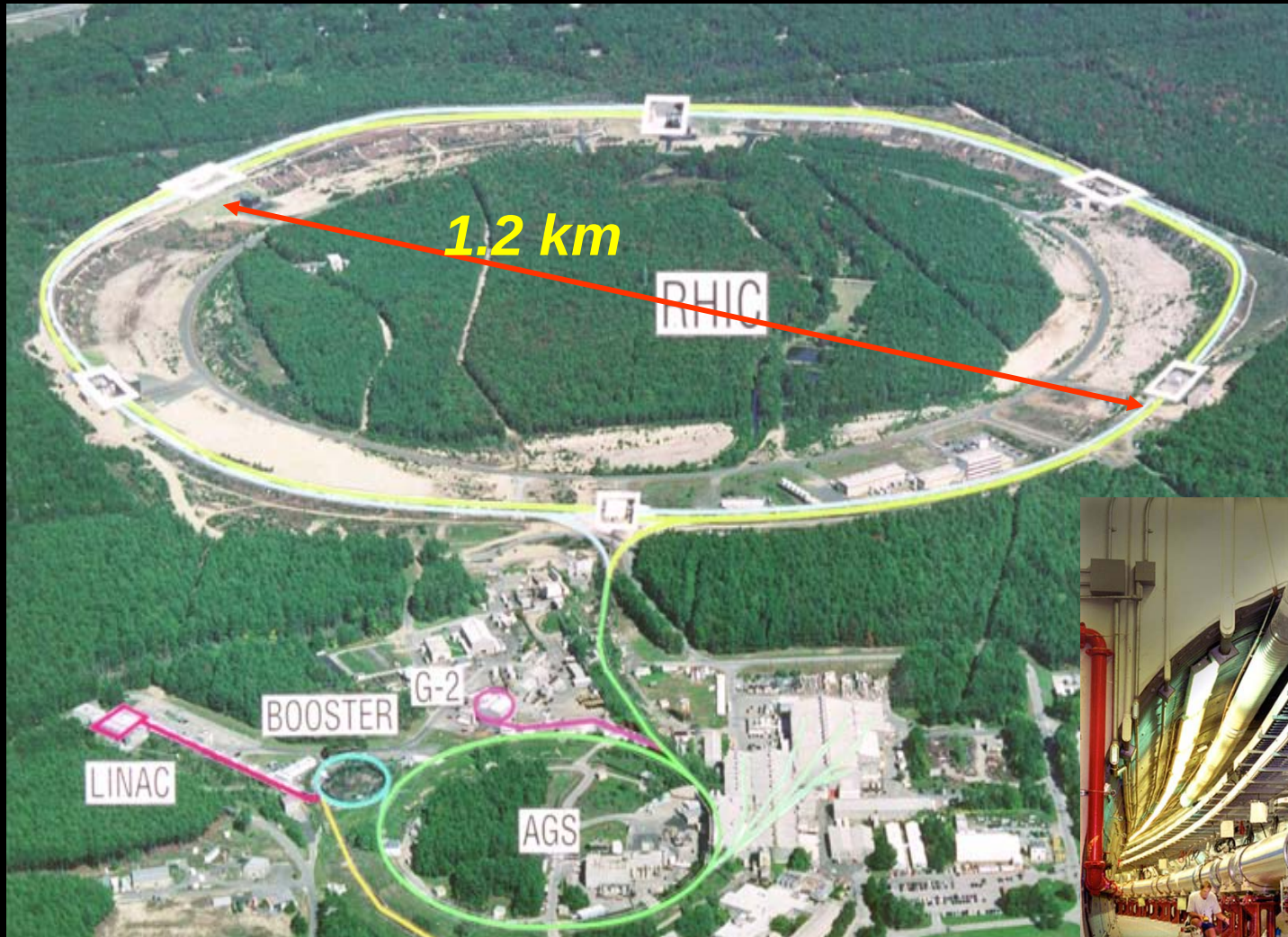
UNITED STATES

AVHRR MOSAIC



1兆度の再現実験(2001-)

アメリカ・ブルックヘブン国立研究所
相対論的重イオン衝突加速器(RHIC)
(世界約15ヶ国、1000人の共同実験)



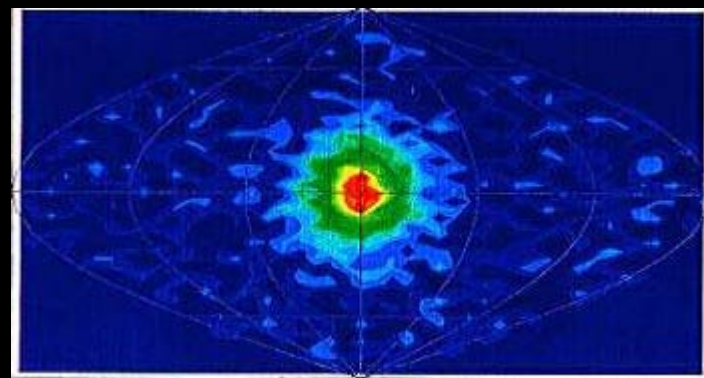
太陽の性質を探る手段



X線で見える（太陽観測衛星ようこう）



可視光で見える

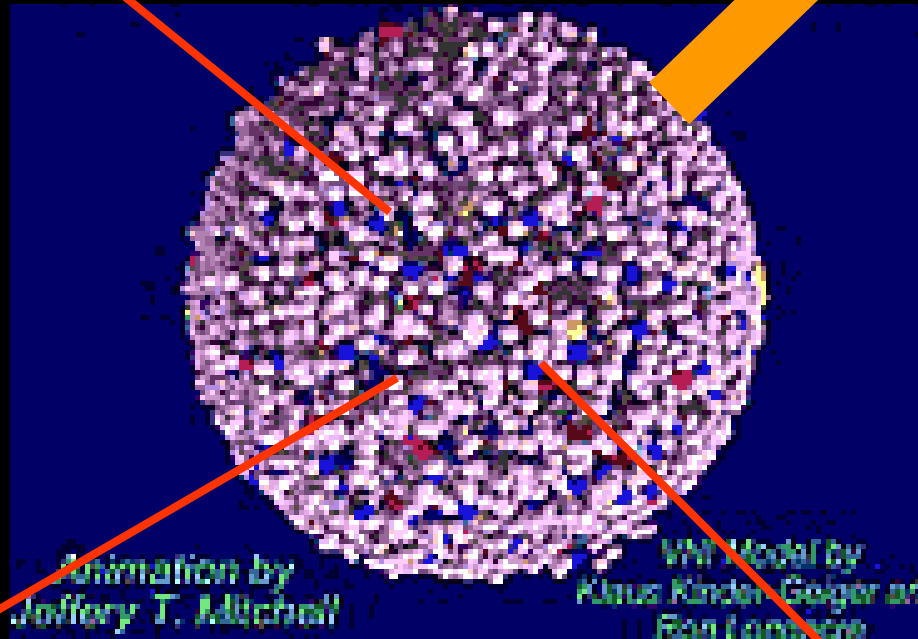


ニュートリノで見える
(スーパーカミオカンデ)

クォーク・グルーオン・プラズマの性質を探る手段

光子

陽子、
中間子、
原子核など



レプトン
(電子、ミューオン)

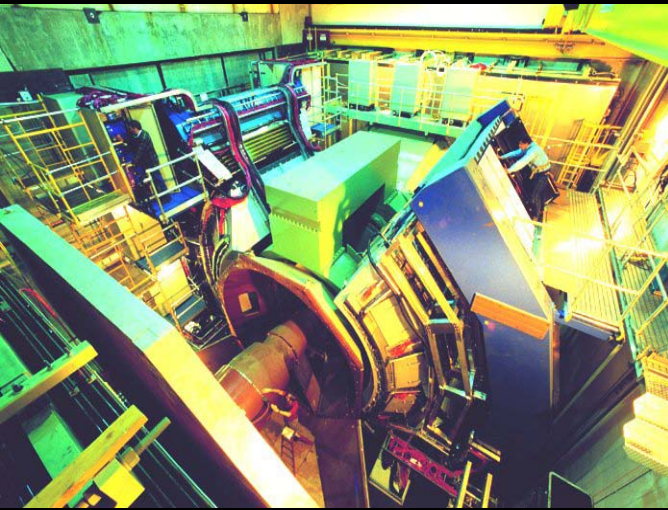
クォークジェット

RHIC実験 大型検出器

フェニックス測定器

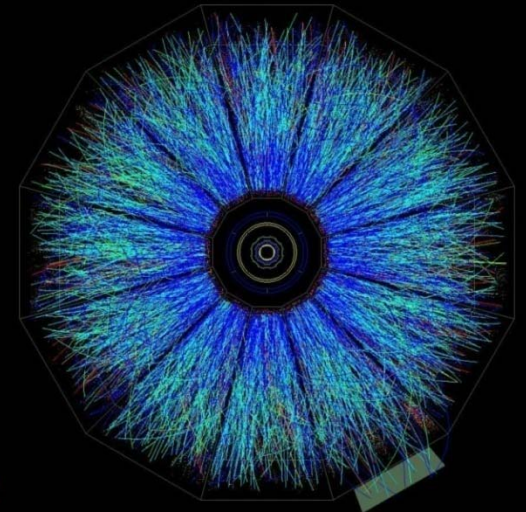
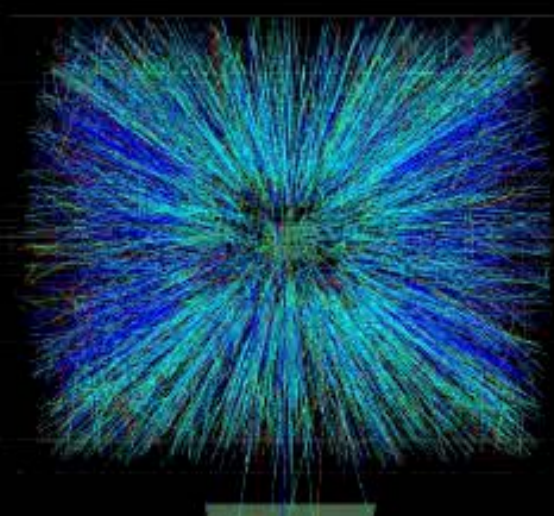
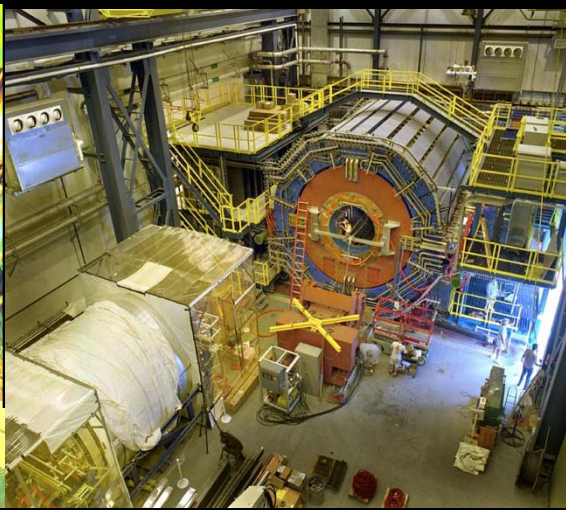
(12カ国, 430名以上)

筑波大, KEK, 東大, 早稲田大, 立教大, 理研,
東工大, 京大, 広島大, 長崎総合科学大など

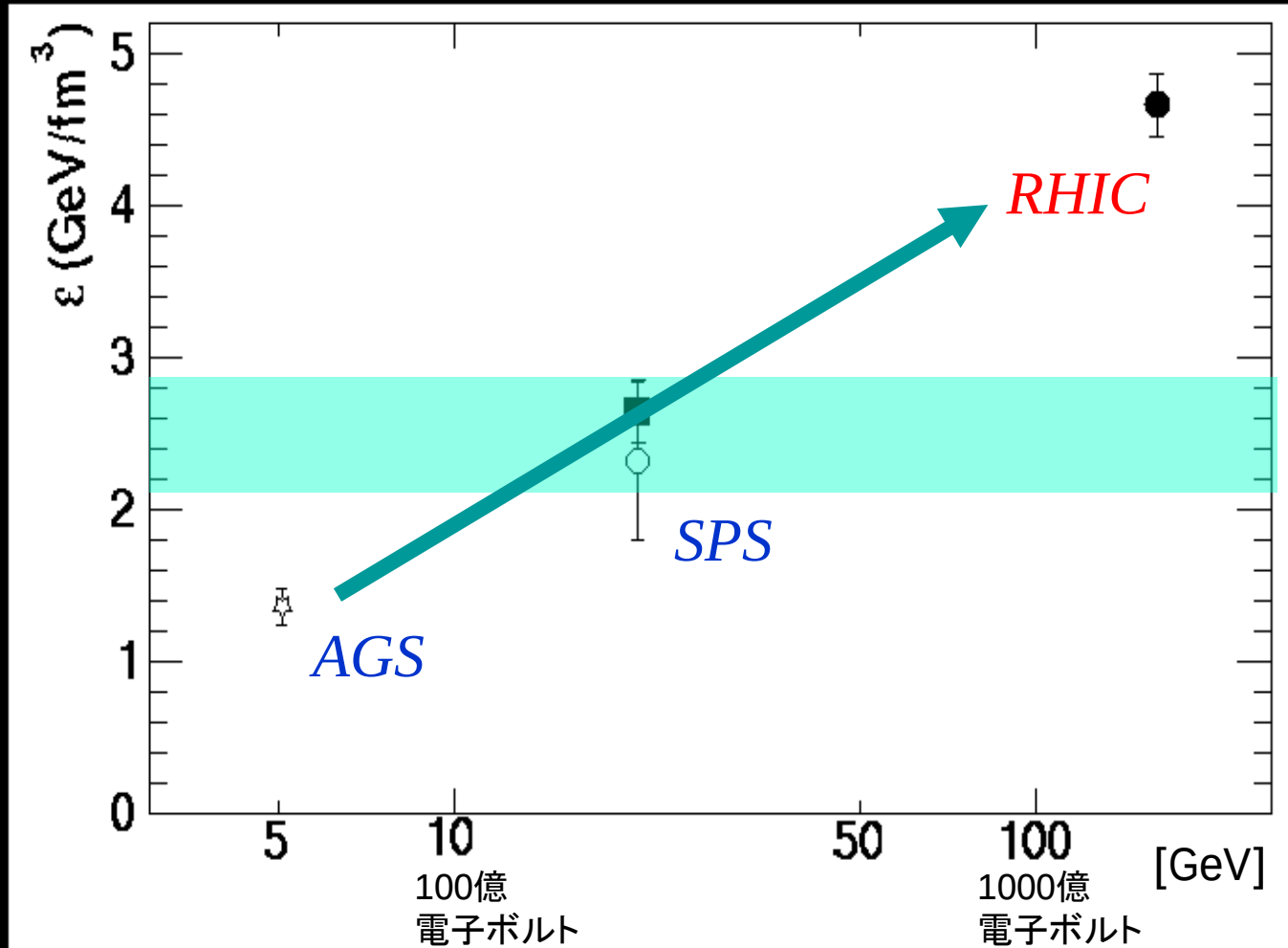


スター測定器

(12カ国, 600名以上)



1兆度のミニ初期宇宙生成！ クォークスープはサラサラの完全流体！？



温度 > 1 兆度

温度 $\sim$ 1 兆度

温度 < 1 兆度

衝突エネルギー

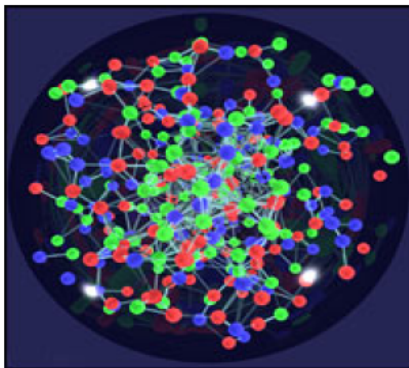
Early Universe was 'liquid-like'

Physicists say they have created a new state of hot, dense matter by crashing together the nuclei of gold atoms. **BBC NEWS**

The high-energy collisions prised open the nuclei to reveal their most basic particles, known as quarks and gluons.

The researchers, at the US Brookhaven National Laboratory, say these particles were seen to behave as an almost

The work is expected to help scientists understand the universe that existed just milliseconds after the big bang.



T
n
P

Universe May Have Begun as Liquid, Not Gas

Associated Press

Tuesday, April 19, 2005; Page A05

The Washington Post

New results from a particle collider suggest that the universe behaved like a hot, dense liquid rather than the fiery gas that was thought to have

New State of Matter Is 'Nearly Perfect' Liquid

Physicists working at Brookhaven National Laboratory announced today that they have created what appears to be a new state of matter out of the building blocks of atomic nuclei, quarks and gluons. The researchers unveiled their findings—which could provide new insight into the composition of the universe just moments after the big bang—today in Florida at a meeting of the American Physical Society.

SCIENTIFIC AMERICAN

There are four collaborations, dubbed BRAHMS, PHENIX, PHOBOS and STAR, working at



Image: BNL

Atomic collisions every second. When the particles are created, they are expected to move collectively, much like a liquid. For high energy and nuclear interactions, rapid thermalization at RHIC make this the most nearly

Early Universe was a liquid

Quark-gluon blob surprises particle physicists.

by Mark Peplow
news@nature.com

nature

The Universe consisted of a perfect liquid in its first moments, according to results from an atom-smashing experiment.

Scientists at the Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) at Brookhaven National Laboratory on Long Island, New York, have spent five years searching for the quark-gluon plasma that is thought to have filled our Universe in the first microseconds of its existence. Most of them are now convinced they have found it. But, strangely, it seems to be a liquid rather than the expected hot gas.

社会

asahi.com トップ > 社会 > その他・話題

宇宙の始まりはしずく? 「クォークは液体」と発表

2005年04月18日 23時34分

宇宙誕生の大爆発「ビッグバン」直後に相当する超高温・高密度の状態を再現する実験をしてきた日米などの国際チームは18日、物質を形づくる究極の基本粒子クォークは超高温でバラバラになるが、気体のように自由に飛び回るのでなく、しずくのような液体状態にあったと考えられる、と発表した。理論的に予想外の発見で、宇宙や物質のなりたちを説明するシナリオに影響を与える可能性がある。

ヨーロッパ共同原子核研究機構 セルン 大型ハドロン衝突型加速器(LHC)

光速の99.9%で陽子や原子核をぶつける

- ・質量の起源 (ヒッグス粒子)
- ・新しい素粒子(超対称性粒子)
- ・宇宙原始物質(クォーク・グルオン・プラズマ)

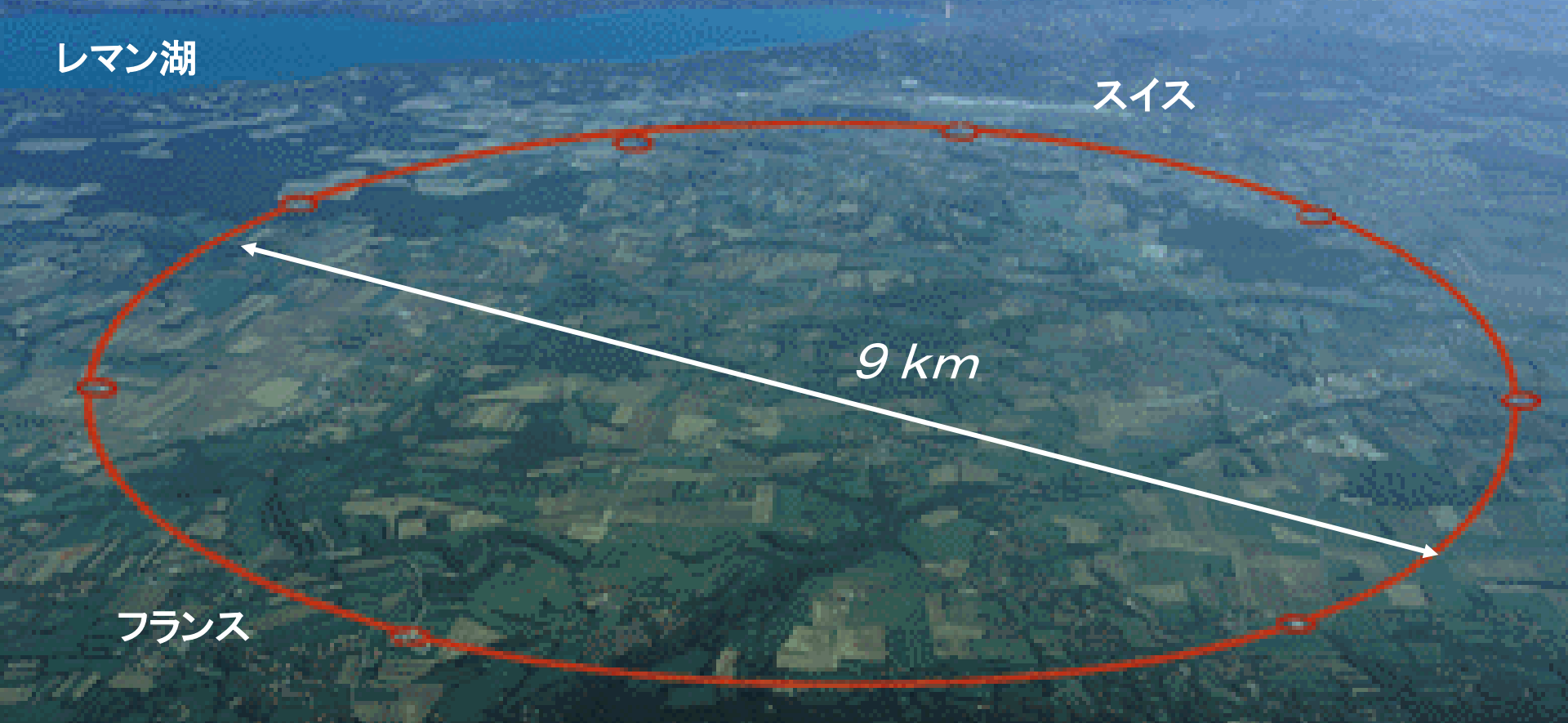


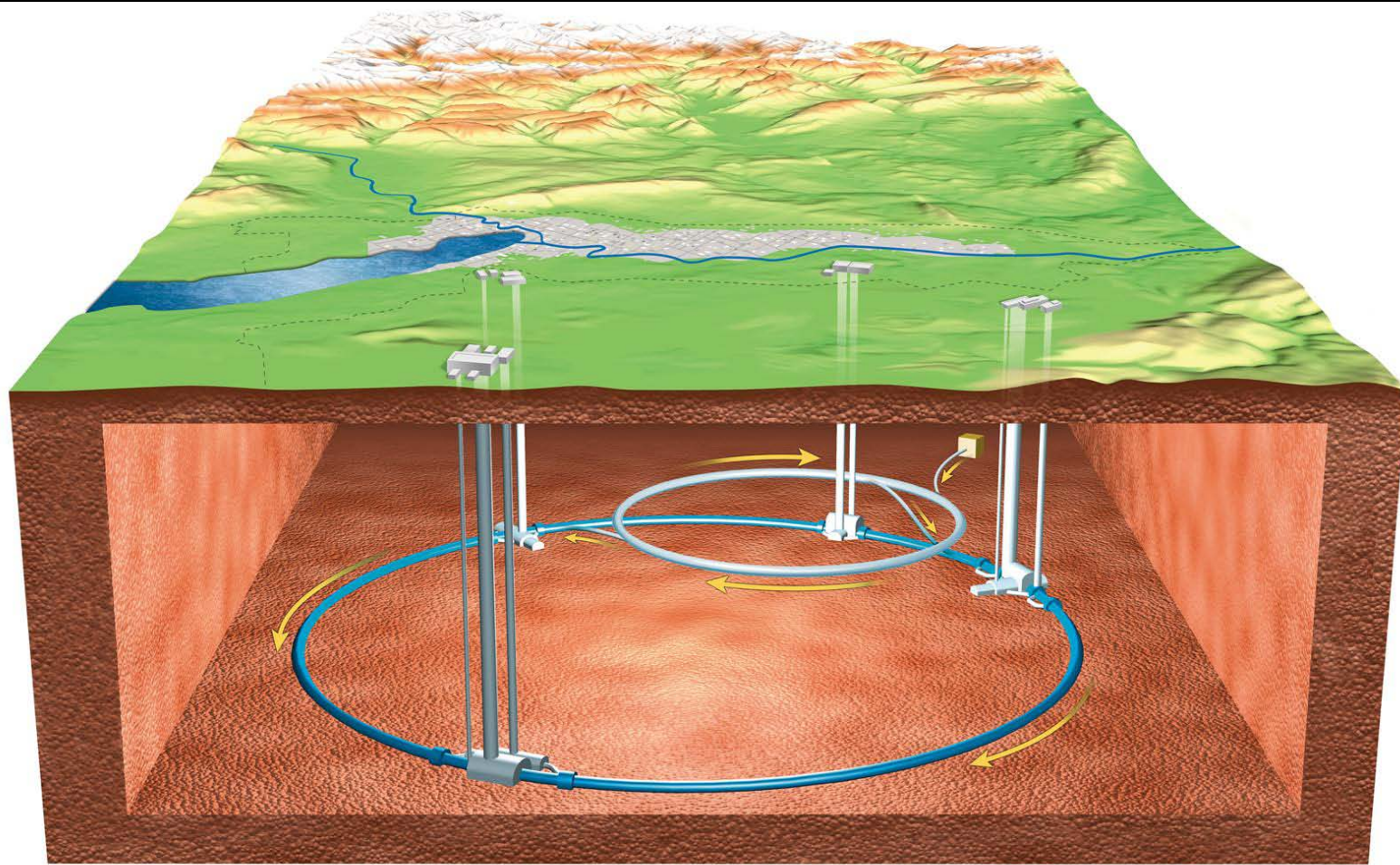
レマン湖

スイス

9 km

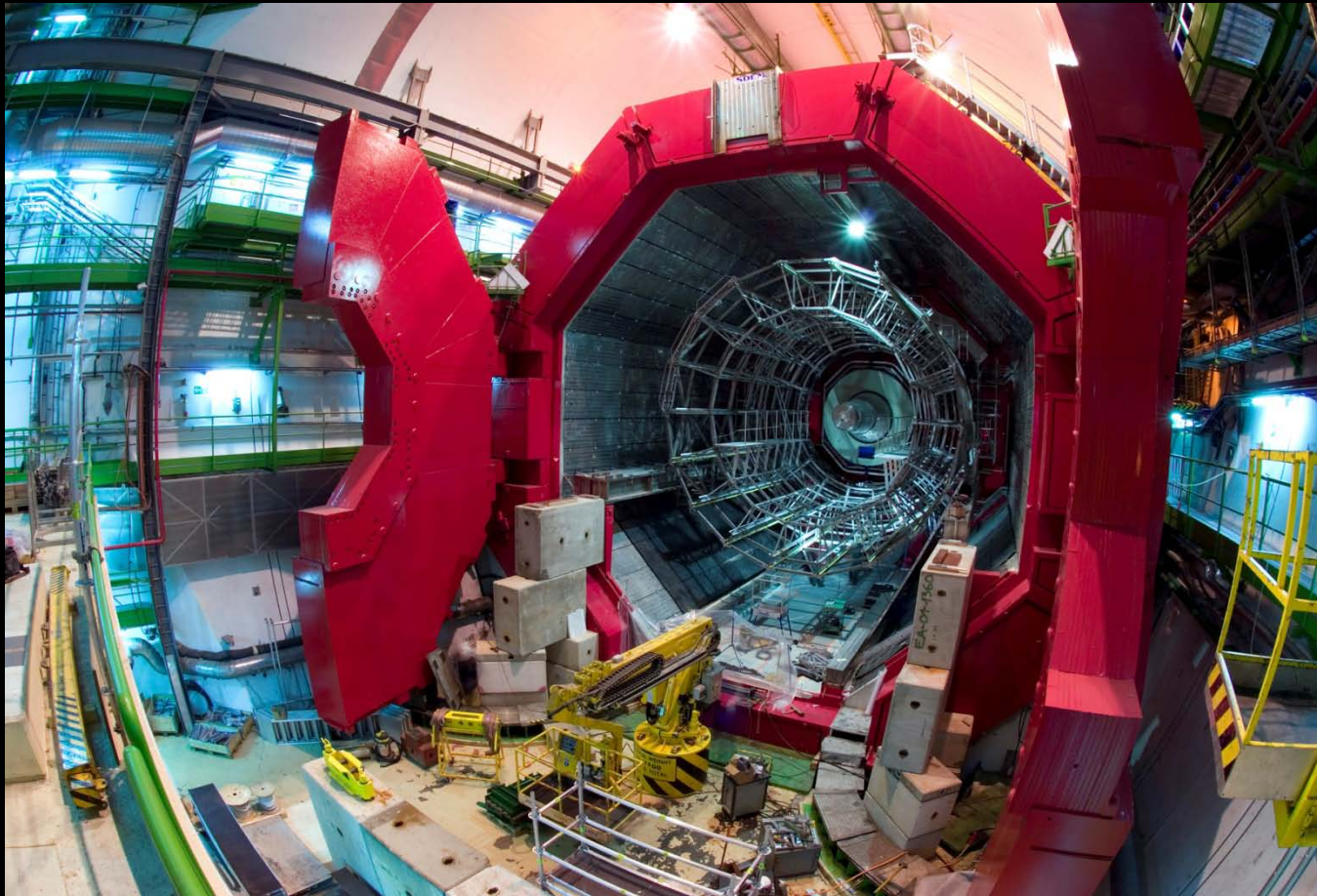
フランス





アリス測定器

広島大、東大、筑波大など



この11月より
原子核衝突実験開始！
(1兆度から10兆度へ)



Guy Paic

6

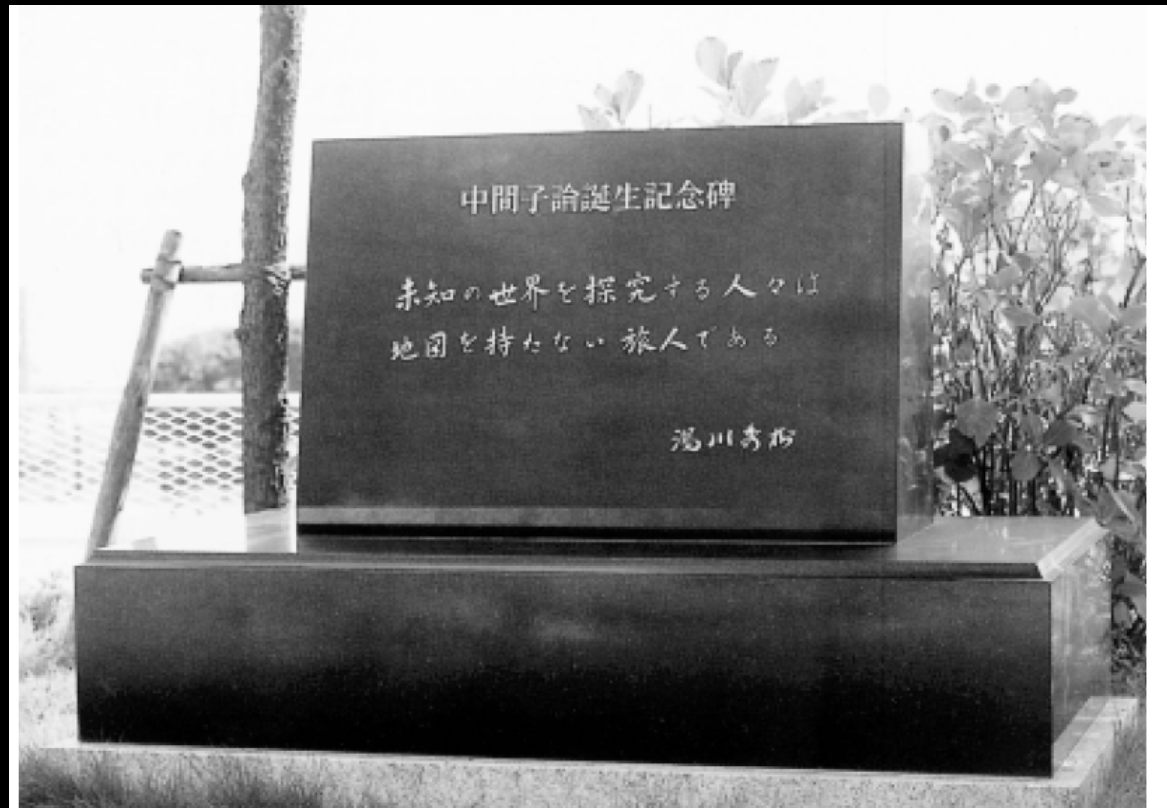
謎は次々と現れる

—物理学の醍醐味—

1. クォーク物質の謎 (クォーク星)
2. 未知の素粒子の謎 (超対称性粒子)
3. 質量の謎 (ヒッグス粒子)
4. 反物質の謎
5. 暗黒エネルギーの謎
6. 未知の次元の謎

- 理論
- 実験
- スーパーコンピュータ

未知の世界を探求する人々は、地図を持たない旅人である
湯川秀樹



湯川秀樹博士記念碑(西宮市立苫楽園小学校校庭)

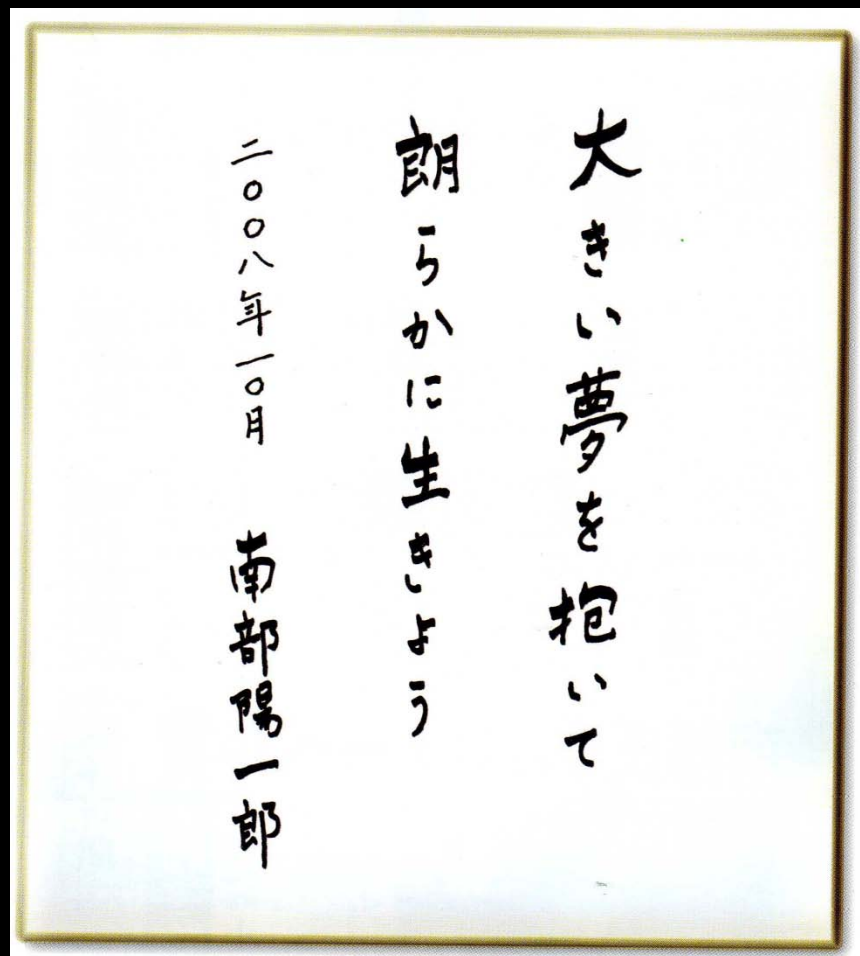
ふしぎだと思ふこと
これが科学の芽です
よく観察してたしかめ
そして考えること
これが科学の茎です
そうして最後になぞかとける
これが科学の花です
朝永振一郎



朝永振一郎



南部陽一郎



ご清聴

ありがとうございました。