「元素誕生のからくり」

http://ribf.riken.jp/~motobaya/lectures/Niiza/index.html

科目ｺｰﾄﾞ	D0437
講　座　名	元素誕生のからくり
定　員　数	24名
担　当　者	本林　透（もとばやし　とおる）

講義の目的および概要

我々のまわりにある様々な元素は、いつ、どこで生まれたのだろうか。今も作られているのだろうか。実は、原子の中心にある極く小さな原子核が、大きな宇宙のスケールの中で元素誕生の鍵を握っている。太陽などの恒星が輝く仕組み、星の一生、宇宙の進化にも関係する元素の合成と原子核について理解を深める。原子核のような微小な世界で働く一見不思議な仕組みについても紹介してゆく。キーワードは、宇宙の歴史、原子核、星の進化、気体と温度、核反応、トンネル効果、超新星、爆発的元素合成、中性子星。

※理化学研究所（和光市）の見学会や、適当なものがあれば講演会聴講を予定している。このような企画にも興味を持ち，積極的に参加する諸君の履修を前提としている。

宇宙で
原子核が組み変わって（反応して）様々な元素が..

元素　--- 概念（種類 – 水素、鉄、ウラン…）
原子　--- 実体（個、”ウランの原子”）
原子核

論文（とは何だろう）の話もするかな。

物理学の基本にも触れます。
　量子とは？　不確定性…　パウリ原理
　パリティってワカラン

トピックス – ニホニウム（113番元素）、重力波

理研見学会を行います（日程未定）
　RI ビームファクトリー
　理研によらず他にも見学の希望があれば

6つのポイント*

1. 元素と原子核　　陽子の数が元素を決める
2. 宇宙の歴史　　ビックバンから約140億年続く膨張
   対数、指数関数
3. 星の進化　　原子核が燃えて重いと超新星爆発
4. 原子核の反応　　断面積とは
5. 気体と温度　　粒子の平均エネルギーは kT
6. 宇宙での元素の合成　ビックバン直後と星の中心
   超新星、中性子合体.....

* 順不同

対数とグラフ

常用対数： $\log_{10} y$ または $\log y$
自然対数： $\log_e y$ または $\ln y$　　ln の l は「エル」

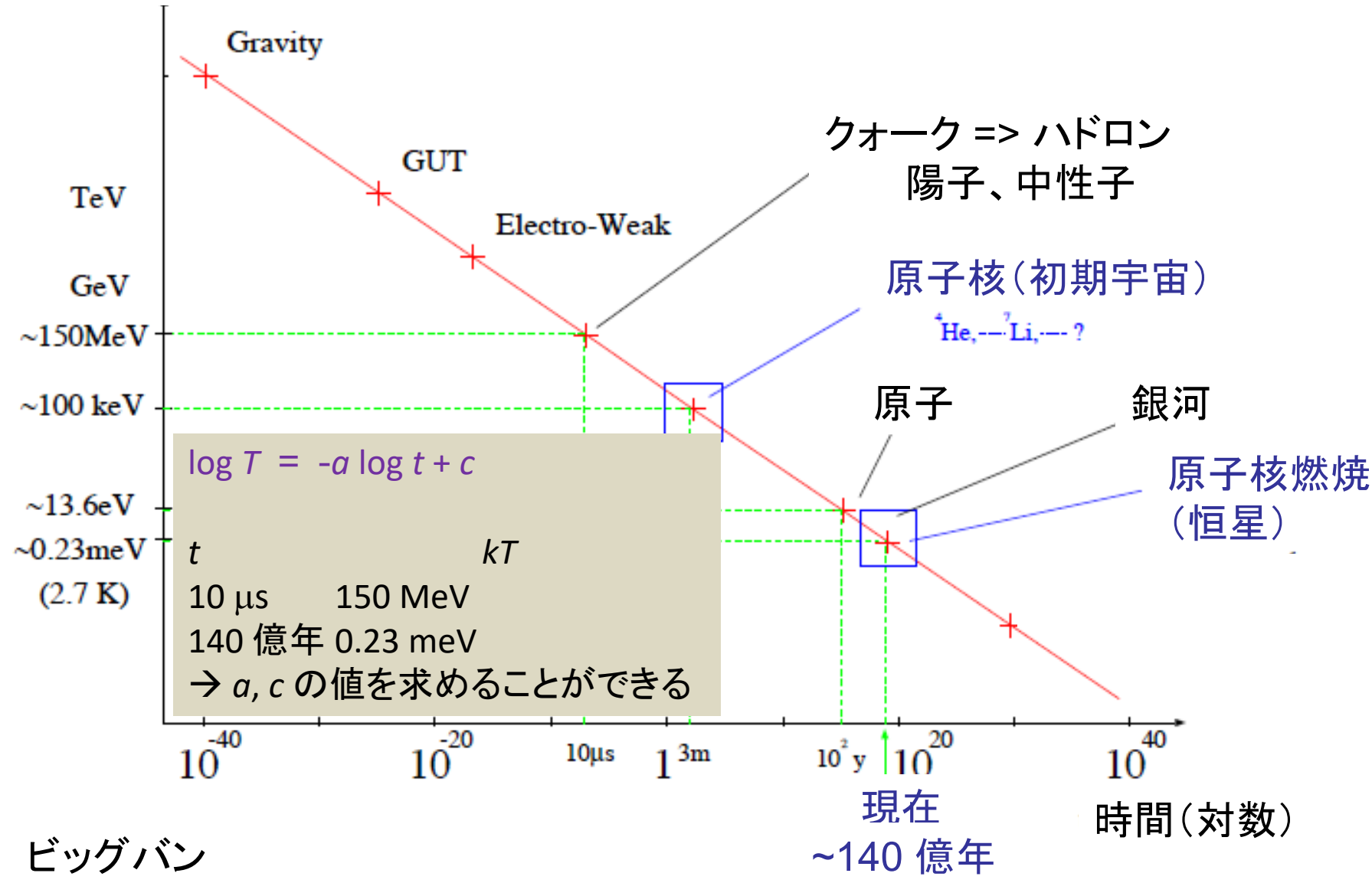
逆関数（対数と指数関数）
$x=\log y \Leftrightarrow y=10^x$
$x=\ln y \Leftrightarrow y=e^x$ または $y=\exp[x]$

では
$\log(ab) = \log a + \log b$
$\log(x^a) = a \log x$

宿題
$\log(T) = -a \log t + c$ ➔ T= ？

実習：対数グラフ（片対数）- 普通のグラフと比較
$y=(1/2)^{t/t0}$
応用
^{137}Cs の半減期は30年である。
最初にあった量を 1 として、年とともにどのように減るかを図示
（福島事故で放出されたセシウムがそのままあるとしたら、
^{137}Csは今どのくらい減っているか？　300年たったら？）

宇宙の膨張と平均温度


温度（対数）
Gravity
GUT
Electro-Weak
TeV
GeV
~150MeV
~100 keV
~13.6eV
~0.23meV
(2.7 K)
クォーク => ハドロン
陽子、中性子
原子核（初期宇宙）
^{4}He,--- ^{7}Li,--- ?
原子
銀河
原子核燃焼
（恒星）
log T = -a log t + c
t kT
10 μs 150 MeV
140 億年 0.23 meV
→ a, c の値を求めることができる
10^{-40}
10^{-20}
10μs
1
3m
10^{2} y
10^{20}
10^{40}
現在
~140 億年
時間（対数）
ビッグバン

対数とグラフ

常用対数：　$\log_{10} y$ または $\log y$
自然対数：　$\log_e y$　または $\ln y$　　ln の l は「エル」

逆関数（対数と指数関数）
$x=\log y \Leftrightarrow y=10^x$
$x=\ln y \Leftrightarrow y=e^x$ または $y=\exp[x]$

では
$\log(ab) = \log a + \log b$
$\log(x^a) = a \log x$

宿題
$\log(T) = -a \log t + c$ ➔ T= ?

実習：対数グラフ（片対数）- 普通のグラフと比較
$y=(1/2)^{t/t0}$
応用
^{137}Cs の半減期は30年である。
最初にあった量を 1 として、年とともにどのように減るかを図示
（福島事故で放出されたセシウムがそのままあるとしたら、
^{137}Csは今どのくらい減っているか？　300年たったら？）

対数とグラフ

常用対数： $\log_{10} y$ または $\log y$
自然対数： $\log_e y$ または $\ln y$　　ln の l は「エル」

逆関数（対数と指数関数）
$x=\log y \Leftrightarrow y=10^x$
$x=\ln y \Leftrightarrow y=e^x$ または $y=\exp[x]$

（自然）指数関数
e=2.718…（ネイピア数）

では
$\log(ab) = \log a + \log b$
$\log(x^a) = a \log x$

宿題
$\log(T) = -a \log t + c$ ➔ T= ?

実習：対数グラフ（片対数）- 普通のグラフと比較
$y=(1/2)^{t/t0}$

応用
^{137}Cs の半減期は30年である。
最初にあった量を 1 として、年とともにどのように減るかを図示
（福島事故で放出されたセシウムがそのままあるとしたら、
^{137}Csは今どのくらい減っているか？　300年たったら？）

対数とグラフ

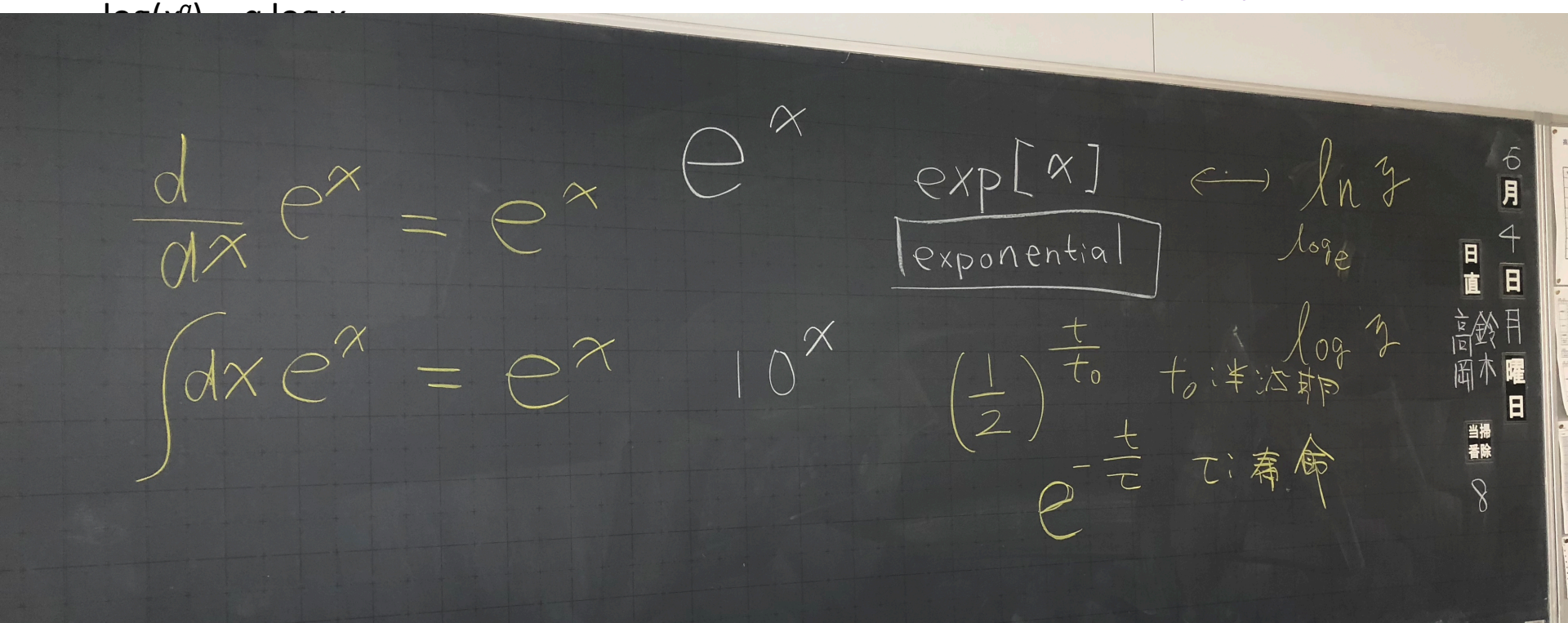
常用対数：　$\log_{10} y$ または $\log y$
自然対数：　$\log_e y$　または $\ln y$　　ln の l は「エル」

逆関数（対数と指数関数）
$x=\log y \Leftrightarrow y=10^x$
$x=\ln y \Leftrightarrow y=e^x$ または $y=\exp[x]$

（自然）指数関数
e=2.718…（ネイピア数）

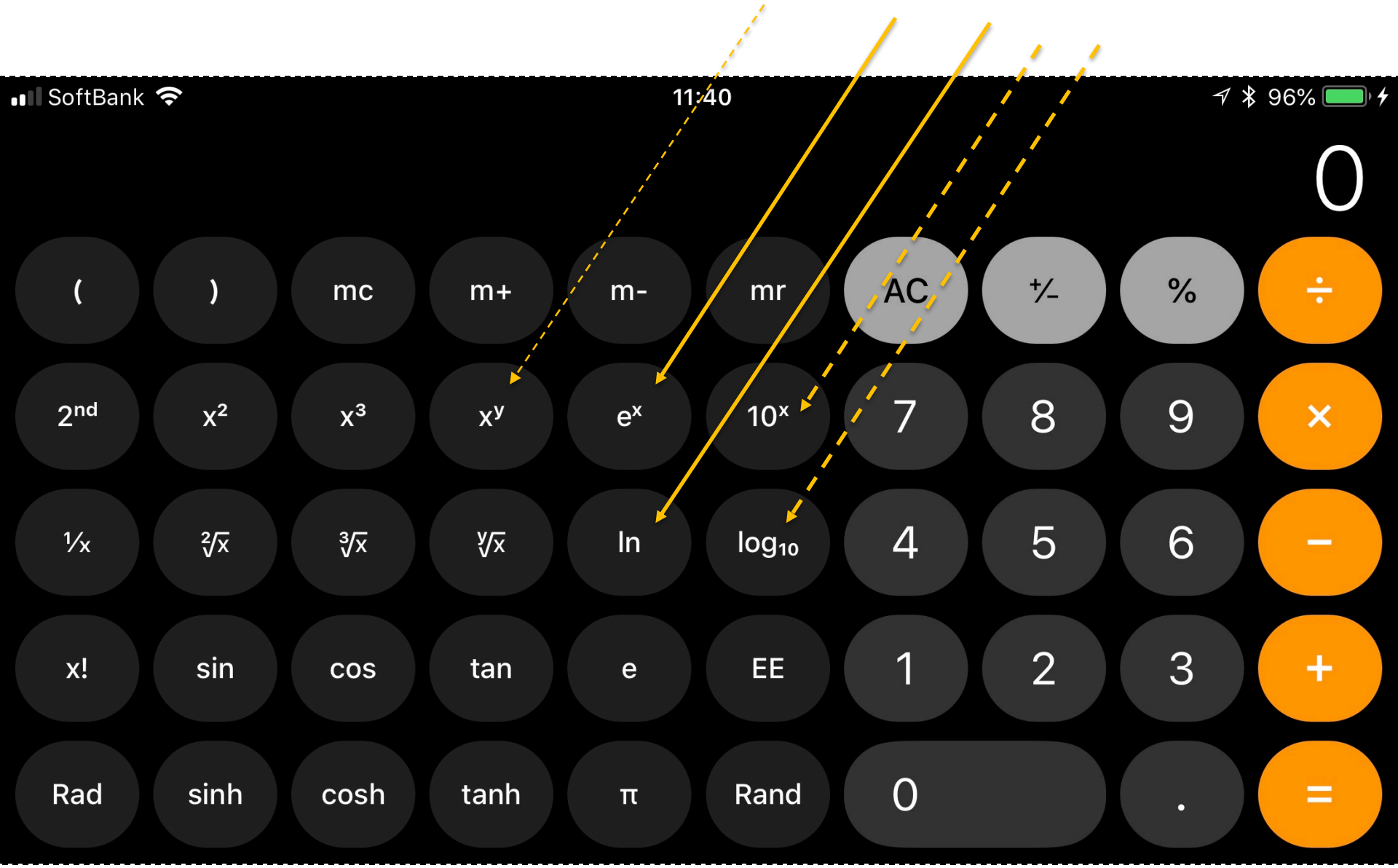
では
$\log(ab) = \log a + \log b$

一般的には a^x　$(1/2)^x$ もその１種

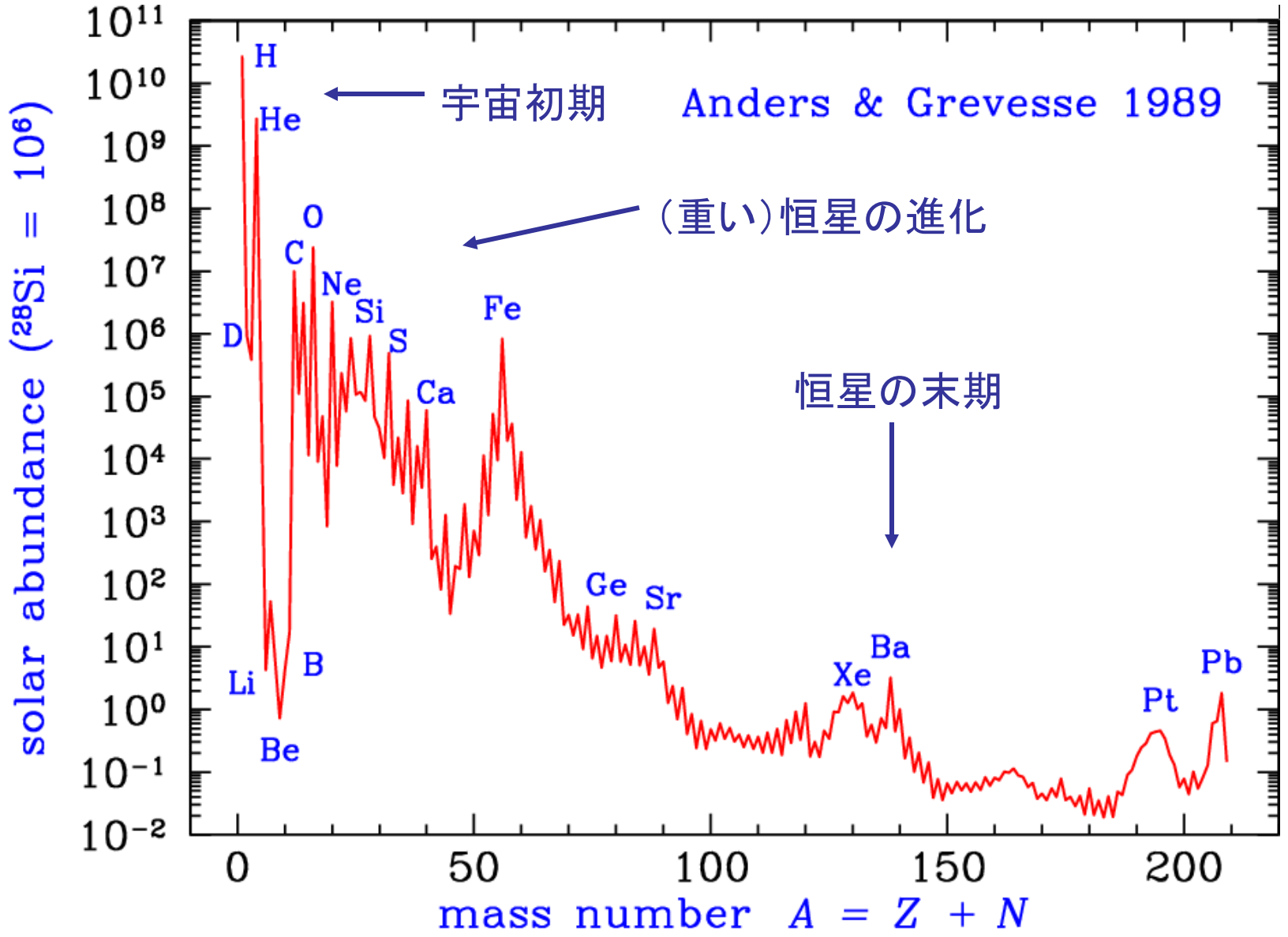


関数電卓の例

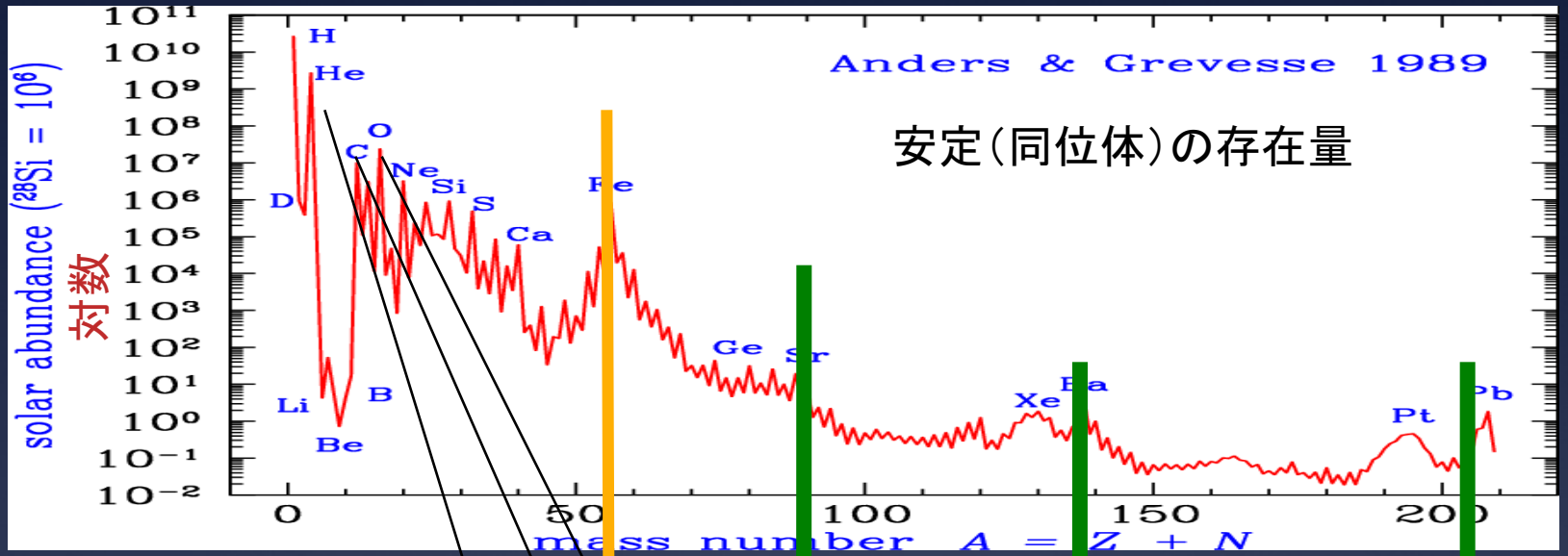
SoftBank
11:40
96%
0
( ) mc m+ m- mr AC +/- % ÷
2nd x² x³ xʸ eˣ 10ˣ 7 8 9 ×
1/x ²√x ³√x ʸ√x ln log₁₀ 4 5 6 −
x! sin cos tan e EE 1 2 3 +
Rad sinh cosh tanh π Rand 0 . =


SoftBank
11:40
96%
0
( ) mc m+ m- mr AC +/- % ÷
2nd x² x³ xʸ eˣ 10ˣ 7 8 9 ×
1/x ²√x ³√x ʸ√x ln log₁₀ 4 5 6 −
x! sin cos tan e EE 1 2 3 +
Rad sinh cosh tanh π Rand 0 . =

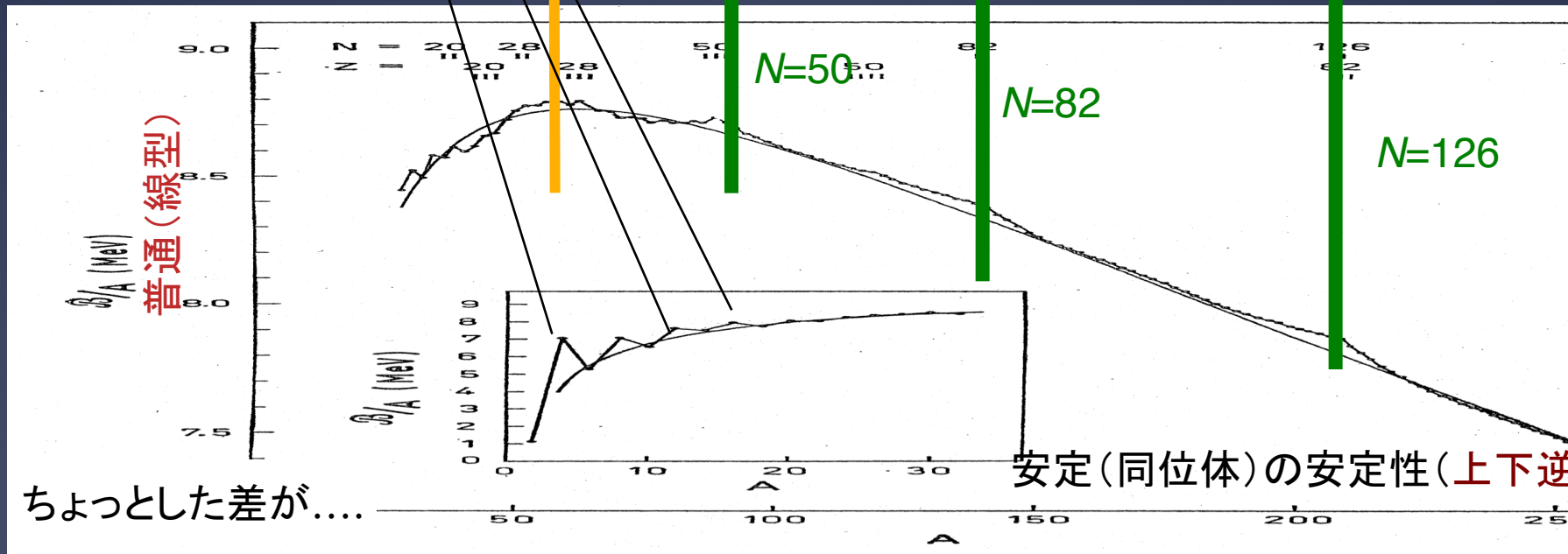
太陽系(~宇宙)の元素組成(存在比)



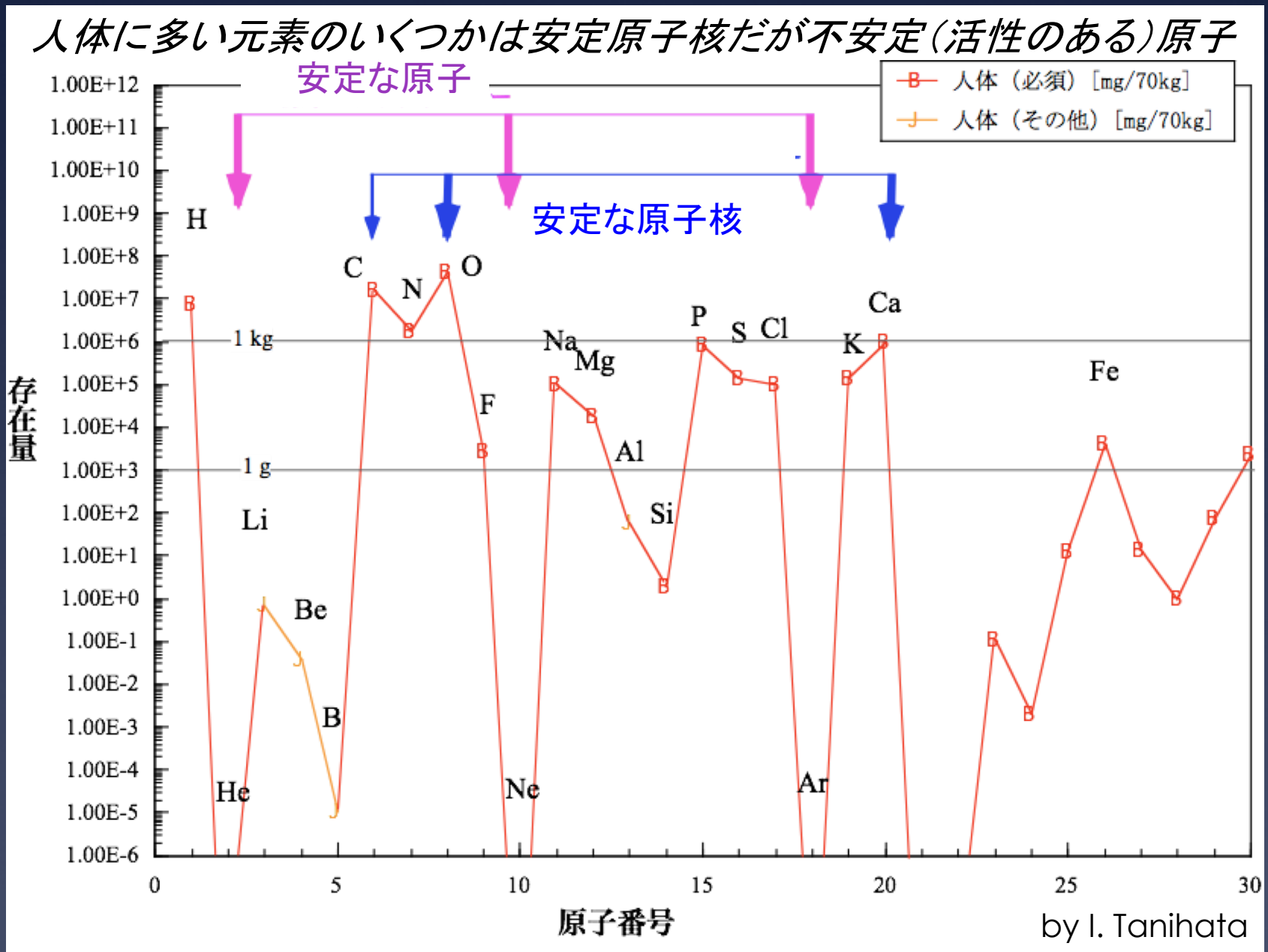
元素（同位体）の存在量と原子核の安定性は関係している – ヒント（核が反応….）



nuclear binding energy per nucleon (*B*/*A*)



原子の安定性と原子核の安定性は、ずれている　--- よかった



宇宙での原子核反応 – 気体中での融合

気体の温度　*c.f.* Maxwell Boltzmann 分布

高温：分子（粒子）が速い

低温：分子（粒子）が遅い

宇宙の原子、原子核

高速（高温）の衝突 => こわれる

低速（低温）の衝突 => 何も起きない

程々の衝突 => 融合が起きる

ビッグバン後

膨張する / 温度がどんどん下がる

原子核ができる（融合）100 秒くらい

=> 原子 => 分子 => … => 星

ビッグバンに始まる宇宙

最初は火の玉 – 高温･高密度

膨張する宇宙 – 断熱冷却
– 霧の発生 –

原子核（すなわち元素）はいつどこで作られたか
宇宙誕生100 秒後の宇宙
水素、ヘリウム、リチウム
輝く星の中心（10 億年後から）
鉄より軽い元素
星の末期、星の爆発
鉄より重い元素

「宇宙は大きな鍋 – 元素を煮ている」

Rolfs & Rodny

原子核が反応する高温状態は

宇宙の歴史

Big Bang => 現在

= 断熱膨張過程

primodial nucleosynthesis （始源的宇宙）

～100 s

plasma - 不透明な宇宙

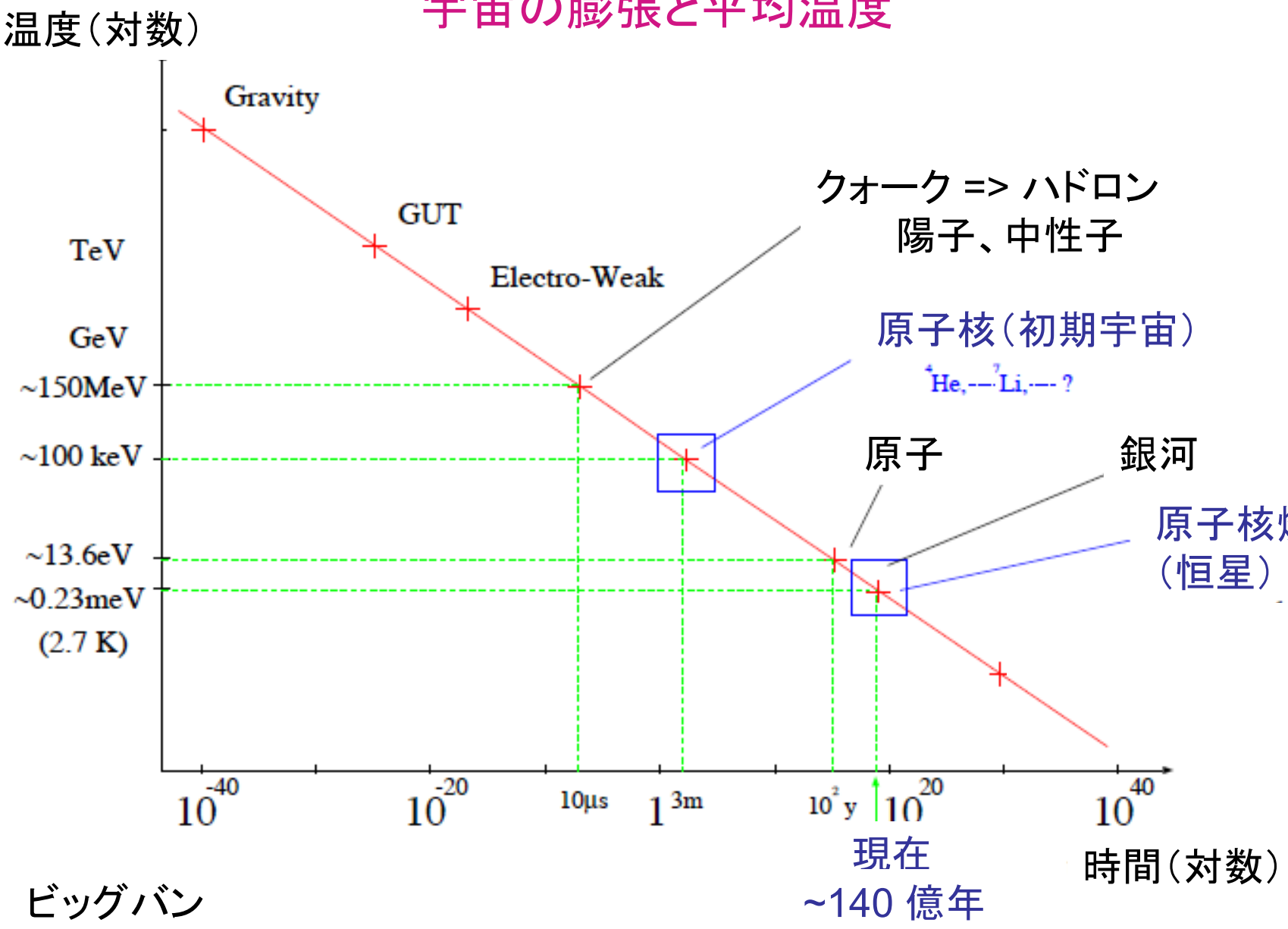
宇宙の晴れ上がり - 原子の誕生　kT = 13.6 eV

星の生成

stellar nucleosynthesis

宇宙の歴史を一枚で....

宇宙の膨張と平均温度



原子核が反応する高温状態は

宇宙の歴史

Big Bang => 現在

= 断熱膨張過程

primodial nucleosynthesis （始源的宇宙）

～ 100 s

plasma - 不透明な宇宙

宇宙の晴れ上がり - 原子の誕生　kT = 13.6 eV

星の生成

stellar nucleosynthesis