

「3次元ブロック核図表」を用いたアウトリーチ活動

Outreach Activity: 3-D chart of the nuclides

小浦 寛之 重原子核反応フロンティア研究グループ
Hiroyuki Koura Research Group for Reactions Involving Heavy Nuclei



身の回りのすべての物は原子からできているが、その原子の中心には原子の約1万分の1の大きさの原子核が存在する。原子核は陽子と中性子の複合体であり、その原子核の性質（エネルギー、寿命など）を表すのに縦軸を陽子の数（原子番号）、横軸を中性子の数として示したものを核図表と呼ぶ。最近、筆者は市販のブロック玩具を利用して原子核の性質を高さ軸に採ることで表現した「3次元ブロック核図表」を作成した。3次元可視化することにより一般の方々にも原子核の世界に親しんで頂くことを意図したものである。

写真1は高さ軸を一核子当たりの原子核の質量値として表した3次元核図表である¹。左下が中性子、水素、ヘリウムなど陽子と中性子の構成個数（その個数を質量数と呼ぶ）が少ない核種で、一方右上に向かうほど金、ウランなど質量数が大きい核種となる。左下及び右上は高さ軸である質量値が高く、一方最も高さの低い核種は鉄56 (^{56}Fe , 56は質量数)である（写真中で白いポールで表している）。左下から鉄56に向かう方向が核融合現象に対応し、右上から鉄56に向かう方向が核分裂現象に対応する。

ブロックの左側に示しているのは第1イオン化エネルギーである。このオブジェを見られる方々は原子核になじみのない場合が多いと考えられるので、まず原子のイ

All the materials found on planet Earth are made of atoms, and the atom is composed of electrons and a nucleus. A nucleus is ten thousand times smaller than an atom and is composed of protons and neutrons. In order to represent the properties of various nuclei, nuclear physics researchers use a chart of the nuclides, which is a two-dimensional (2D) chart where the number of protons is shown in vertical axis and the number of neutrons is shown in horizontal axis. However, this chart is rather difficult and is only used by experts.

Recently, I have constructed two three-dimensional (3D) nuclear charts with toy blocks, which represent the atomic masses per nucleon number and the total half-lives for each nucleus in the entire region of the nuclear mass. These charts have been used in outreach activities for the general public and high school students.

Picture 1 shows my first chart of the nuclides in 3D, in which the height of each block indicates the nuclear mass per nucleon¹. In the lower-left region

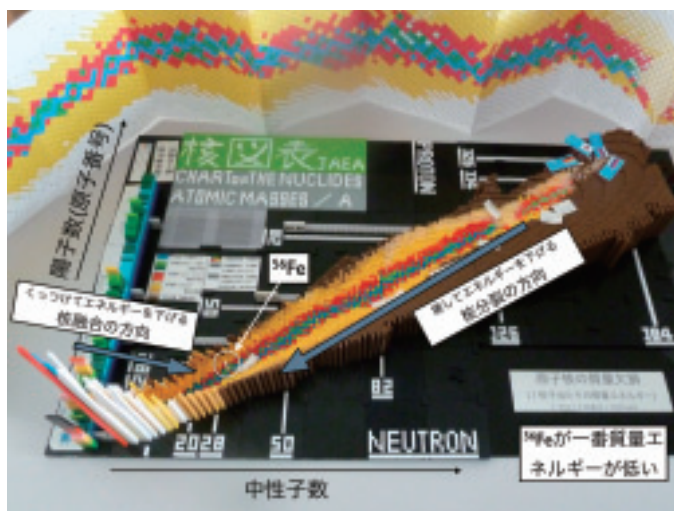


写真1 3次元ブロック核図表(質量値版)。茶色以外の核種：実験的に存在が確認された核種(約3千5百個)。茶色の核種：理論的にその存在が予想される核種(筆者による理論計算。写真の範囲で約3千個)。

Picture 1 A chart of the nuclides in 3D (atomic masses are shown). Brown-colored blocks: nuclei that were theoretically predicted by the author (~3,500 nuclei). Other blocks: experimentally-identified nuclei (~3,000 nuclei).

¹ 正確には原子の質量超過。原子の質量は圧倒的に原子核が占める。原子核研究においては通常電子を含めた中性原子全体として質量を議論する。

¹ Strictly the excess mass of the atoms. A majority of an atom's weight is that of the nucleus. In nuclear studies, neutrally-charged atomic masses are discussed instead of an atom's nuclear mass.

オン化エネルギーを示すことにより原子の閉殻構造の概念に触れてもらおうという意図である。イオン化エネルギーは希ガスであるヘリウム（原子番号2）、ネオン（原子番号10）、アルゴン（原子番号18）…で顕著に大きな値を取り、これら希ガスは他の原子とほとんど反応しない。これが原子番号の周期性の現れとなっている。原子核における陽子数と中性子数も同様な閉殻性を持っている。ただし、原子の場合とは異なり、写真中の白いブロックで示しているように20、28、50、82…が閉殻数となる。

写真2は高さ軸を原子核の半減期（寿命）として表現したものである。一ブロックの高さを半減期の桁数に相当させた対数表示としている。色合いは黒が概ね1億年以上、茶が1万年以上、赤が1年以上、黄色が1日以上…となっている。安定核種（または長寿命核種）は黒い柱で表されており、軽い核種から重い核種である鉛208、ビスマス209まで核図表上を弓なり状の弧が連続的に連なっている。そして少し離れてトリウム232、ウラン235、238が孤立して存在しているのが分かる。また、安定核種から離れると半減期が急激に短くなる様子も見取れる。

他にも太陽系の同位体の存在比版など複数の3次元核図表を作成した。

このような核図表を概観することにより原子核の大域的な性質を平易に理解することができる。その一つとして主に利用しているのが宇宙における元素合成の解説である。

我々が生活している地球には炭素、鉄、銀、金、ウランといった様々な物質が存在しているが、これらは138億年前の宇宙の最初から存在したわけではなく、星の進化などの過程を経て、陽子、中性子を材料として作られてきた、いわゆる「宇宙の錬金術」が行われてきたと理

of the chart, there are lighter-colored blocks, which are the nuclei with a smaller number of protons and neutrons, such as hydrogen and helium. In the upper-right region, there are darker-colored blocks, which are the heavier nuclei, such as gold and uranium. The masses are larger at both ends of the chart, and the lowest mass per nucleon is that of ^{56}Fe , which is represented by the white poles in Picture 1.

Picture 2 shows my second chart of the nuclides in 3D, in which the heights of the blocks represent the half-lives of the nuclei. The solar system abundances of the isotopes are also constructed. The bulk properties of the nuclei can be easily understood by using these charts. These charts have been used in high school lectures to describe the nucleosynthesis in the universe.

In the universe, various and numerous types of elements exist, such as gold, iron, carbon, and uranium. But why do these elements exist in the universe? The key to solving this question is in the evolution of the stars in cosmic history. For 13.8 billion years, the universe has created various types of elements, and the nuclear bulk properties, as visualized in Pictures 1 and 2, play an important role in the syntheses of the elements. We investigated the ability of non-experts to understand the world of nuclear physics and the history of the genesis of elements.

Using my charts, a lecture entitled “Alchemy of the Universe” was given to the general public at the Science Cafe and to a high school science class²

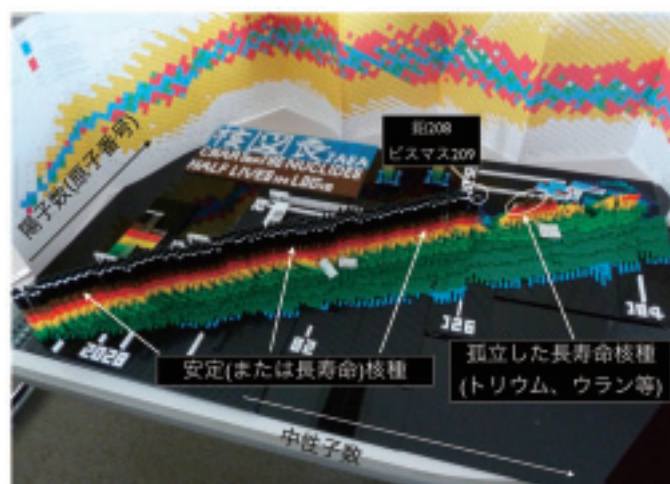


写真2 3次元ブロック核図表(半減期版)

Picture 2 A chart of the nuclides in 3D (the half-lives of the nuclei are shown)

解されている。そしてその合成には3次元核図表で表されるような原子核の性質が大きく関わっている。その様子を3次元ブロックで実感し、原子核の概観を親しみながら理解してもらう試みを進めている。

これまでいくつかのサイエンスカフェの講演や高校での科学授業で「宇宙の錬金術」と題する講演を行ってきた²(写真3)。聴衆の方々の反応はいずれも概ね好評であった。オブジェの存在感および親近感(玩具で作成)に加えて、世の中の元素の起源を、宇宙という大きい世界と原子核という小さな世界の関わりから統一的に理解できるという新鮮さが強く興味を引いているのではないかと思う。(筆者が計算した元素合成動画も好評であったようだ)。

現在までに3次元核図表を2セット作成した。最近では福島県及び茨城県の高等学校を中心にこの3次元核図表を作成しようという試みを進めており、例えば福島県立新地高等学校では既に一部について完成した。今後もこのような活動を通して普及に努めていきたい。

なお、本ブロック作成にあたり原子力機構産学連携推進部にはいろいろなお支援を頂いたことを感謝します。

(see Picture 3). The audiences seemed to enjoy the lectures and responded to them very well. This may have been due to the use of the colorful charts that were constructed with toy blocks. Furthermore, the audiences seemed to enjoy the narration in which the universe was depicted as a large planet and the nucleus as a small planet to describe the origin of the elements of our world.

Recently, some of the staff at the high schools in the Fukushima and Ibaraki prefectures have been interested in recreating our 3D charts. Among them, for example, is a class at Shinchi High School in Fukushima Prefecture, which has already started to recreate one of our 3D charts (the lighter part of the chart has already been finished). I will proceed to distribute these approaches of scientific topics to the general public.

I acknowledge and give my gratitude to the Industrial Collaboration Promotion Department of JAEA for their support in creating the 3D charts.



写真3 講演の様子(福島県立福島高等学校 2013年8月23日)

Picture 3 Snapshot of a lecture at Fukushima High School (Aug. 23, 2013).

2 平成25年度科学技術週間サイエンスカフェ(2013年4月、東京都千代田区(文部科学省 情報ひろば))
科学授業(2013年8月、福島県立福島高等学校(文部科学省スーパーサイエンスハイスクールコア指定校)など)

2 Lectures were given at the Science Cafe during Science and Technology Week 2013 (MEXT Information Plaza, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan) (Apr. 16, 2013) and at a "Super Science High School" in Fukushima Prefecture as designated by MEXT (Aug. 23, 2013).