

「神の粒子」発見の意味： 科学的、哲学的、神学的省察

清心神学大学院大学校総長 金振春(キム・ジンチュン)
素粒子分野物理学博士、2013.11.4

1. はじめに

1964年ベルギーのフランソワ・アングレール(F.Englert)とロベール・ブルー(R.Brout)は「壊れた対称性とゲージ・ベクトル中間子の質量」、英国のピーター・ヒッグス(P.Higgs)は「壊れた対称性とゲージ粒子の質量」で世界的な物理学論文誌《Physical Review Letters》にそれぞれ8月と10月に発表した。続けて米国のグラルニック(G.Guralnik)とヘイゲン(C.Hagen)、そして英国のキッブル(T.Kibble)は「グローバル粒子法則と質量のない粒子」を同じ論文集に11月に発表した。

これら全ては、いわゆる「ヒッグスメカニズム」と「ヒッグス場(field)によって、粒子が質量を持つようになる」という事実を明らかにした。すなわち、法則(メカニズム)とエネルギー(場)により「ヒッグス粒子」を含んだ粒子が生成されるということだ。その当時にはまだ標準模型(standard model)が定立されておらず、宇宙と物質が16個の素粒子と1個のヒッグス粒子で構成されたという事実は明らかにされていなかった。だが、ヒッグス粒子が必ず存在しなければならないということを主張した。

ヨーロッパ粒子研究所(CERN)は2012年7月4日、ヒッグス粒子を99.999994%の信頼度で発見したと発表した。これは1964年に予想された後、48年間待ちこがれてきたうれしい便りであったし、科学発展に大きな一線を引くことになった。2013年10月4日、「東京大と日本高エネルギー加速器研究機構などが参加した国際研究チームは質量が125.5Gev(ギガ電子ボルト)、すなわち、陽性子の約134倍であり、スピンの0であるヒッグス粒子を確認することによって学術的にヒッグス粒子の存在が確定した」と毎日新聞は報道した。

ついに10月8日、スウェーデン王立科学院ノーベル賞委員会はヒッグス・英国エジンバラ大名誉教授とアングレール・ベルギー・ブリュッセル自由大名誉教授を2013年の物理学受賞者として発表した。ノーベル賞委員会は「これらの研究が宇宙万物に存在する基本粒子に質量を付与したメカニズムを理論的に予測して、最近CERNがこれを実験的に探せるように根拠を提供」し、「物質を構成する粒子の質量がどこで始まったかを発見したヒッグスメカニズム理論が実験をとおして立証」されることにより、「宇宙生成の秘密の解明において大きく寄与した点を高く評価した」と選定理由を明らかにした。

素粒子が質量を得て、万物が生成されるところにヒッグス粒子が関連したという点において「神の粒子」という名称は示唆するところがある。それゆえ、ヒッグス粒子の発見が意味するのは何

だろうか。まず、物理学的意味を調べ、さらに哲学的、神学的意味を吟味してみよう。

2. 物理学的意味

ヒッグス粒子の発見は物理学的に多くのことを含蓄している。

(1) ヒッグスメカニズムの確証

現代物理学でヒッグスメカニズムとヒッグス場を扱う分野は量子場論だ。量子場論は量子論、特殊相対論、ゲージ対称性が共に融合した現代物理学の花だ。量子場論をとおして、私たちは宇宙の誕生と発展過程はもちろん、素粒子世界に対する理解をすることができる。

ヒッグス粒子の発見はヒッグスメカニズムを確証する。ヒッグスメカニズムは一言で宇宙万物を構成する基本粒子に質量を付与するメカニズムだ。一部のマスコミは、ヒッグス粒子が「神の粒子」と呼ばれるのは、神のように物質に質量を付与するためだと報道した。だが「ヒッグス粒子が他の粒子に質量を与える」という表現は、厳密に言えば間違いだ。粒子に質量を与えるのはヒッグスメカニズムとヒッグス場であって、ヒッグス粒子ではない。ヒッグス粒子もヒッグスメカニズムとヒッグス場によって生成された一つの粒子に過ぎない。

ヒッグスメカニズムは標準模型と説明される基本粒子が質量を得ることができる唯一の方法だ。すなわち、ヒッグスメカニズムなしには粒子が質量を得ることができないので粒子は実体的に存在できない。低エネルギーでは粒子が質量を得て、高エネルギーでは意味のある予測値を予想するのは現在としてはヒッグスメカニズムの他に検証されたものがない。

また、ヒッグスメカニズムでなければ弱い力と電磁気力が統一されず、弱い力を媒介する粒子(W、Z)の実存と質量が説明されない。クォーク、レプトン、弱い力ゲージ粒子のような標準模型の基本粒子は、ヒッグスメカニズムをとおしてのみ質量を得ることができる。結局、ヒッグスメカニズムでなければクォークとレプトンで構成された原子が存在できず、したがって、分子と物質(固体、液体、機体、プラズマ)も、地球と太陽系と銀河系と宇宙も存在できない。また、高分子で形成される細胞も不可能なので、植物と動物の生命体も存在できない。これと共にヒッグス粒子の発見は、ヒッグスメカニズムを確固たる自然法則として受け入れるのに決定的役割を果たした。

(2) ヒッグス場の確証

ヒッグス粒子の発見は、ヒッグス場の実存と特性に対しても確実な証拠を用意してくれた。「場(field)」は物理学において重要な概念だ。物理学で話す場とは「存在して運動する物体に影響を及ぼす空間的性質」ということができる。場の例としては重力を起こす重力場、電気と自分現象を起こす電磁気場がある。私たちは、日常生活の中で地球の重力を常に感じており、各種電磁気による現代科学文明の中で生きているので重力場と電磁気場から抜け出せない。ところで、場の概念は現代物理学でも核心的な役割をする。場とは一種のエネルギーなので、 $E=MC^2$ (2乗)により質量を付与することで粒子を生成することができる。すなわち、量子場論における場は、

粒子を作りだすことができる。場を刺激すれば、すなわち、若干のエネルギーを場に与えれば、そのエネルギーは場の波動を起こして、粒子を生成する。ヒッグス場はヒッグス粒子を作る。私たちは、一般的に、何の物質もない空間を真空という。ところで、量子場論で真空というのは、ヒッグス場がまんべんなく広まっている状態を意味する。空間がガラんと空いているとしても、その空間、すなわち、真空は、ヒッグス場で満たされている。そのような点において真空は、何もない、完全に空いているものではない。単に物質がないだけで、ヒッグス場は存在する。ヒッグス場は真空に広まっており、真空を満たしている。物理学者たちは、ヒッグス場があたかもねばねばした流体のように行動すると説明する。標準模型のクォーク、レプトン、弱い力、ゲージ粒子は、このねばねばした流体と相互作用をする。粒子がヒッグス場とどれくらい強く相互作用をするかにより、粒子の質量が決定される。相互作用が強いほど質量が重くなる。クォークとレプトンの中で最も重いトップクォークは、ヒッグス場と相互作用を最もよくするので最も重い。反面、光子はヒッグス場と全く相互作用をしないために質量がない。

粒子がヒッグス場と相互作用をとおして質量を得る過程を、物理学者は次のような比喻で説明したりもする。ある広場(すなわち、ヒッグス場)に人々が均一に分布しているとする。その広場は均一に対称的であるので、一種の対称性を持っている。もし、その広場に突然人気スターが現れれば、多くの人々が彼を中心に集まるだろう。そうすれば、均一に分布した広場の対称性は壊れることになる。そして、彼は集まった人々のためにたくさんの抵抗を受けて動きにくくなる。これはあたかも彼が質量を得て動きにくいと同じだ。質量が大きいほど動くのがとても大変なことを日常生活で体験するような話だ。質量を他の角度から見れば「動きに対する抵抗」ということができる。

広場(ヒッグス場)から受ける抵抗の程度は、その人の有名な程度(質量の大きさ)にかかっている。もし、その広場に集まった人々の関心を全く引くことができない人が現れたら、彼は広場に集まった人々と相互作用なしに自由に動くだろう。あたかも停止質量が 0 である光子が、ヒッグス場と何の相互作用もなしに光速で宇宙空間を自由に走るのと同じだ。

空間は様々な場で満たされている。ヒッグス場を除いた他の場は、場の値が 0 になるとき、最小エネルギー状態となる。しかし、宇宙全体に均一に広まっているヒッグス場はそうではない。ヒッグス場の値が最も低い部分は 0 ではなく、ある値を持つ。

場を丸い器で比喻するならば、器の最も底辺は場の値も 0 で、エネルギー値も 0 だ。それゆえ、器の最も底辺に置かれているボールを押せばボールは回っていくが、また最も低い本来の地点に戻ってくる。しかし、ヒッグス場はこういう器とは違い、底辺の中央が山のようにふっくらと突き上がっている形態だ。ヒッグス場のこのような姿をメキシコ帽子として比喻することが多い。帽子の中でふっくらと突き上がっている部分は、場の値が 0 だ。この部分はどんな方向にも転がることのできる対称性を持っているが、同時に不安定な状態だ。ふっくらと突き上がっている中央地点からひとまず球がどんな方向にでも転がり落ちて行けば、それ以上選択の可能性は消える。選択の可能性が消えた状況を「対称性が崩壊した」という。

ヒッグス場は対称性を持つが、不安定な場だ。それゆえ、その対称性は自発的に崩壊し得る。す

なわち、ヒッグス場は場の値が 0 である偽の真空(false vacuum)状態で対称性を自発的に破り、安定的エネルギーレベルを訪ねて行く。自発的対称性崩壊をヒッグス場の相転移(phase transition)ともいう。ここで「自発的対称性崩壊」(spontaneous symmetry breaking ; SSB)というのは「随意的、あるいは任意的な」対称性崩壊というよりは、量子論の不確定性、すなわち、量子論的法則に従う対称性崩壊と見なければならぬだろう。すなわち、自発的対称性崩壊は法則に従う崩壊であって、法則に従わない崩壊ではない。

(3) ヒッグス粒子実存と標準模型の完成

ヒッグス粒子の発見は仮説で存在したヒッグス粒子が実体的に存在するということを確認させてくれた。光子が電磁気場と関連した粒子であるように、ヒッグス粒子はヒッグス場と関連した粒子だ。したがって、ヒッグス粒子が「137 億年前に宇宙が生まれた瞬間のビッグバン当時、全ての粒子に質量を付与して消えた」という表現は正確でない。ヒッグス粒子が全ての基本粒子に質量を付与したのでもなく、宇宙初期に消えたのでもない。ただ、ヒッグス粒子は不安定なので他の粒子になって崩壊したのだ。ヒッグス粒子はきわめて不安定で、1 秒よりはるかに短い時間だけ存在し、クォークやレプトン、あるいはゲージ粒子のような標準模型の粒子になって崩壊する適切なエネルギー条件さえあれば、いつでもヒッグス粒子を生成することができる。

ヒッグス粒子は普通の粒子だ。

だが、ヒッグス粒子は標準模型の素粒子中で唯一、スカラー粒子(スピン 0)だ。ハーバード大学の物理学者リサ・ランドール(L.Randall)は「ヒッグス粒子が四つ力(強い力、弱い力、電磁気力、重力)とは違った新しいタイプの力を感じる粒子と考えることもできる」と主張する。¹ 要するにヒッグス粒子の発見は、理論的に存在しなければならなかった粒子の実体を発見したという点で大きな意味がある。ヒッグス粒子の発見により、ヒッグスメカニズム(法則)とヒッグス場(エネルギー)は確固たる地位を持つようになったし、理論的存在であったヒッグス粒子の実体が確定した。ところで、ヒッグス粒子の発見はまた他の観点から見て、大きな意味がある。ノーベル賞委員会は「ヒッグス粒子が標準模型を完成する」と評価した。標準模型は宇宙の物質がどのように生成され、それらがどのように相互作用するかをうまく説明する。さらに、標準模型は宇宙の生成と初期段階もうまく説明する。このような標準模型がヒッグス粒子の発見として完成されたのだ。すなわち、ヒッグス粒子の発見は、宇宙森羅万象の起源とその存在原理を説明する標準模型を完成させたのだ。

(4) 宇宙の起源(10^{-11} 秒以後)に対する確証

現代宇宙論によれば、137 億年前の宇宙は超高温の完全な対称(perfect symmetry)だった。完全な対称性は誕生の瞬間(0 秒)から 10^{-43} 秒経過するときまで維持された。極めて短いこの期間に全ての力は、ただ一つの超力(superforce)で統合されており、質量を持った粒子は一つもなかった。

¹ Lisa Randall, 『이것이 힉스다』 (Higgs Discovery), 이강영·김연중·이민재 옮김, (서울: 사이언스북스, 2013), p.53.

しかし、宇宙が膨張しながら、超高温の温度は徐々に落ち、完全な対称性は段階的に崩壊した。10⁻⁴³秒経過したとき、まず重力が超力から分離した。それゆえ、宇宙は GUT 力(大統一場の力)、重力に分けられた。10⁻³⁵秒が経過した時、また強い力が GUT 力から分離し、宇宙は強い力、電磁気、弱い力、重力に分けられた。10⁻¹¹秒が経過した時、電磁気の弱い力(electroweak force)は、また電磁気力、弱い力に分離し、宇宙は結局、強い力、電磁気力、弱い力、重力に分けられた。宇宙はその後、今に至るまで四つの力で維持されて相互作用をしている。

10⁻¹¹秒以前は弱い力と電磁気力が統一され、同じ力であったし、メキシコ帽子型のヒッグス場はまだ生じていなかった。10⁻¹¹秒が経過したとき、宇宙の真空空間にこの特別な模様のヒッグス場が敷かれるようになり、宇宙はビッグバンの遺跡といえるこのヒッグス場でぎっしり埋まることになった。そして、このヒッグス場によって弱い力と電磁気力の間の対称性も消え、現在まで互いに違う力として作用している。ヒッグス場は実際の物質で成り立った場ではないので、物質がなくなってもヒッグス場はそのまま残っている。ヒッグス場のエネルギーがどれくらいなるかはわからないが、ヒッグス場は対称性を崩壊させ、粒子に質量を付与し、粒子の特性も決める。したがって、ヒッグス場は質量の根源であり、存在の母と同じだ。宇宙万物は、同じヒッグス場にその起源を置いており、同質性を持っている。

(5)素粒子周期律表の完成

今まで物質、地球、太陽系、銀河系、大宇宙で発見される大部分の元素は原子レベルだ。元素は元素周期律表によって配列される。この周期律表は量子論によってうまく説明される。しかし、素粒子の配列に関する「素粒子周期律表」は量子論だけでは不可能であり、量子場論によるのみ説明される。

(図 1: 粒子の質量、電荷、発見年度が明示されている。アップクォークの場合質量 2.4Mev、電荷+2/3、発見年度 1994 年だ。Mev は 10 の 6 乗 ev、Gev は 10 の 9 乗 ev だ。)

原子は必ず原子核と電子という二重構造になっており、原子核は陽性子と中性子で構成される。陽性子と中性子はアップクォークとダウンクォークになっている。結局、原子、分子、物質、植物、動物、人間はアップクォークとダウンクォーク、電子の 3 つの素粒子で構成される。だが宇宙にはこれら粒子の他にさらに多いクォークとレプトン(軽粒子; lepton)が存在し、これら粒子は標準模型によって素粒子周期律表を成す。素粒子周期律表は、大きく物質を構成する素粒子(12 個)、力を伝達する素粒子(4 個)、ヒッグス場に直結したヒッグス粒子(1 個)の計 17 個で構成される。

物質を形成する 12 個は、6 個のクォーク(up と down、charm と strange、top と bottom)

	Mass generating particles			Force generating particles		Force generating Higgs particle
	1st Gen	2nd Gen	3rd Gen	particles		
Quarks	2.4Mev +2/3 1994 u	1.3Gev +2/3 1973 c	171.2Gev +2/3 1994 t	0 0 1900 γ	125.5Gev 0 2013 H	
	4.8Mev -1/3 1977 d	104Mev -1/3 1947 s	4.2Gev -1/3 1977 b	91.2Gev 0 1983 Z		
Leptons	0.5Mev -1 1897 e	105.7Mev -1 1937 μ	1.8Gev -1 1975 τ	80.4Gev ±1 1983 W		
	< 2.2ev 0 1956 ν _e	< 0.2Mev 0 1962 ν _μ	< 15.5Mev 0 1975 ν _τ	0 0 1979 g		

Periodic Table of elementary Particles

と 6 個のレプトン(電子と電子型ニュートリノ、ミューオンとミューオン型ニュートリノ、タウとタウ型ニュートリノ)だ。力を媒介する 4 個は光子(0)、弱い力保存(Z 、 W)、グルーオン(g)であり、これらはそれぞれ電磁気力、弱い力、強い力を媒介する。

ところで、物質を形成する 12 個は 3 個の世代(**generation**)で構成され、各世代は 2 個のクォークと 2 個のレプトンで構成される。2 個ずつ一そろいになるクォークらは電氣的に陽性(養成)と音声に分けられ、レプトンは音声と中性に分けられる。力を伝達する四つのうち、 W 、 Z だけ質量を持つ。

今までの全ての実験は標準模型に外れなかった。数多くの素粒子は標準模型によって分類されて体系化されるが、今回のヒッグス粒子の発見によってこの素粒子周期律表が確定したのだ。

3. 哲学的意味

ヒッグス粒子の発見は、哲学的に私たちに何を省察させるのか。ここでは哲学の基本的出発点といえる実体に関して、いくつか調べる。

(1) 実体の概念

実体(**substance**)は哲学の重要なテーマだ。私たちはヒッグス粒子の発見によって「実体とは何か」ということに対して思惟の地平線を広げることができる。

第一に、実体というのは、無形的質料と有形的質料を内包する。標準模型に従う全ての有形的物質、すなわち、素粒子で原子、分子、物体、動植物、太陽系、銀河系、宇宙などはヒッグス場から始まり、無形のエネルギーで構成されている。ヒッグス場の特別な塊が、素粒子で宇宙全体に達する有形的実体の姿だ。有形的存在の根源は無形であるエネルギーにあるので、実体の本質的な姿は有形(形状)よりは無形(エネルギー場)といえる。したがって、実体とは、無形と有形の質料を共に考慮しなければならない概念だ。

第二に、実体というのは、デザインと質料を内包する。素粒子で宇宙全体に達する全ての実体は、ヒッグスメカニズムとヒッグス場により形成された。すなわち、全ての実体はその自体内にヒッグスメカニズムというデザイン要素と、ヒッグス場という質料要素を持っている。ヒッグスメカニズムは量子場論に従い、量子場論は量子論と特殊相対論とゲージ対称性によって形成される。これらは精密性と厳格性を持っているデザイン(設計図)だ。したがって、実体とは量子論というデザインとエネルギーという質料を共に考慮しなければならない概念だ。ヒッグスメカニズムはソフトウェア(デザイン、設計)のようで、ヒッグス場はハードウェア(質料)のようだと言えよう。

第三に、実体とは、目的性と法則性のデザインを内包する。ヒッグスメカニズムを形成する量子論と特殊相対論とゲージ対称性には、法則的な面(法則性)もあるが、その裏面には美しさ(美)と真実さ(真)と善良さ(善)という価値的な面(目的性)も内在する。かつてアインシュタインを始めとした科学者らは、自然に内在する美しさ(例えば対称性)が自然を理解する案内役割をすると確信した。実際、その美しさの追求が、科学発展に多大な役割を果たしてきた。そして、ヒッグス

メカニズムを含んだ自然法則は決して偽りが無い。自然法則の一貫性・普遍性・不変性は、法則自体の真実さ、すなわち、偽りが無いことを傍証している。また、ヒッグスメカニズムを含んだ自然法則は善だ。善は真の自由と平和と統一と幸福と喜びを与えるが、悪はそうでない。このようにデザインは、目的性の要素と法則性の要素を共に持っている。したがって、実体とは、目的性と法則性を共に考慮しなければならない概念だ。

結局、実体とは、無形と有形の二重性、デザインと質料の二重性、目的性と法則性の二重性が内在する実体だ。このような側面を共に考慮するとき、実体に関して、さらに包括的理解が可能だ。

(2)実体の特性

ヒッグス粒子の発見と標準模型は「実体はいかなる特性を持つだろうか」に関して考えるようにする。上記において全ての実体にはデザイン(設計、構想、計画)が内在すると述べた。普遍的に内在するこのデザインによって、全ての実体は普遍的な特性を持つことになる。その特性は、存在目的(意図、意味、価値など)と存在法則(法度、原則、天道など)と記述できる。「対称性」は存在世界に内在する根本法則だ。対称性とは「変化がわからない性質」、あるいは「普遍性を持っている性質」と表現できる。どのような変化や変換を加えても状態が変わらないとき「対称性がある」という。円や正四角形は、中心を軸にどのように回しても本来の姿そのままなので対称性を持つ。正三角形は重心を軸に 120 度回転させれば本来の姿そのままなので対称性を持つ。球はある角度で眺めようが同一なので 3 次元的対称性を持つ。雪も幾何学的対称性を見せる。木の葉や各種動植物にも対称性が発見される。私たちの体が、左右対称であることも対称性だ。このような対称性が、自然を探求して記述するのにおいて非常に重要な役割を果たす。

科学者らは、対称性で多様な自然現象を記述する。宇宙の形成と存在原理をうまく描写する標準模型も対称性の原理に基づいている。理論物理学で内部対称性は、あたかもスパムメールを取り除いて品質管理をする役割をする。すなわち、内部対称性は誤って作動する要素を除去して、物理的に問題がある仮想粒子を消してしまう。また、対称性は、物理的に意味がない予測を排除し、実験と一致する結果を誘導するように制御する。すなわち、高エネルギーでの予測が、意味があり、かつ、自然界に実際に存在する姿を記述する理論になるべく制限する。例えば、高エネルギーでの無限大、負数値の確率、反宇宙、無限大の宇宙などは自然界に実存する姿ではない。このような予測を避けるためには内部対称性であるゲージ対称性が必須だ。

物理学ではゲージ対称性が特に重要だ。ゲージ(gauge)は、尺度すなわち、何かを測定する基準をいう。ゲージ対称性(gauge symmetry)は、私たちが自然を眺める尺度を変化させても、自然は変わらず、同一性、あるいは普遍性を持つという意味だ。座標界が変わって、変化しても自然を記述する物理理論は全く変化してはならない。これがゲージ対称性の基本概念だ。

このようにゲージ対称性は普遍性を含蓄している。ゲージ対称性は宇宙の法則が、時間・空間に関係なく変わることがない、すなわち、一貫性、あるいは普遍性を持っている。それゆえ、対称性は「普遍性を持っている性質」ということができる。自然と存在世界を記述する法則や表現は対称性に符合しなければならない。もし物理法則が時空間により、あるいは実験者の便宜により

変わるならば、それは普遍的な法則とはいえない。例えば、ニュートンの重力法則は、地球でも月でも、宇宙全体で同じように作用するので「対称性がある」という。また対称性の原理は保存性(不変性)を含蓄している。1918年ドイツ数学者ネーター(E.Noether)は、物理学の保存法則が対称性から生じるという点を明らかにした。

標準模型は量子場論と説明され、ここには量子論、特殊相対論、ゲージ対称性が共に調和が取れている。量子論は、粒子・波動の二重性、不確定性、量子化に基づいている。相対論はローレンツ不変という対称性、光速不変という不変性を内包している。ゲージ対称性は対称性、自発的対称性崩壊に基づいている。

このように標準模型は、量子論の二重性、不確定性、量子化を内包する。そして、標準模型は相対論の対称性、不変性を内包する。

それだけではなく、標準模型は、ゲージ対称性の普遍性、同一性、均一性、一貫性、不変性を内包する。したがって、ヒッグス粒子の発見で標準模型が完成されることにより、宇宙万物に内在するこのような特性を包括的に理解できるようになる。

(3)実体の生成

それでは、実体はどのように生成されるのだろうか。実体の基本要件は質量を持つのだ。ヒッグス粒子の発見と標準模型は実体がどのように質量を得て、存在することになるのかに関して明らかにする。物理学以外の他の学問では実体の生成過程をうまく説明できない。

内部対称性は意味のない値を除去するために必ず必要な法則だ。だが、この対称性は、質量がなくなるとこそ可能なので、質量がある粒子(クォーク、レプトン、弱い力ゲージ粒子)には問題になる。すなわち、内部対称性を維持しようとするなら、それらは実体として存在できない。しかし、実質的にはこれら粒子が質量を持って実体として存在している。この二つのジレンマ、すなわち、高エネルギーでは対称性を保存しなければならないので質量を持つことができず、低エネルギーでは質量を持たなければならない問題を解決するのは、現在、ヒッグスメカニズムしかない。

ヒッグスメカニズムは対称性崩壊をとおして、質量を得ることによって実体を可能にする唯一の法則だ。内部対称性の保存は必ず必要な条件だが、クォーク、レプトン、弱い力ゲージ粒子が質量を持つ場合には内部対称性が崩壊しなければならない。ゲージ対称性が崩壊してこそ粒子は各自固有な質量を持って実体として存在する。自発的対称性崩壊は、ヒッグスメカニズムで決定的役割をする。

自発的対称性崩壊とは、量子論の不確定性原理と確率によって、量子的動揺(quantum fluctuation)によって崩壊することをいう。自発的に崩壊する対称性は、物理法則の中では保存されるが、実際の世界では保存されない対称性だ。自発的対称性崩壊とは概念を粒子物理学に1960年初めて導入した南部陽一郎は、その功勞で2008年のノーベル物理学賞を受賞した。

ヒッグス場の自発的対称性崩壊は、尖った鉛筆が立っている姿として説明されることが多い。尖った鉛筆が真っすぐ立っている状態は、ヒッグス場の値が0で、対称性を持ち、非常に不安定

な場に該当する。尖った鉛筆が横に倒れた状態は、対称性が崩壊して消えたが、安定した状態にあるヒッグス場に該当する。このとき、ヒッグス場の値は、0 よりさらに低いエネルギーを持っている。非常に不安な状態で立っている尖った鉛筆は倒れて安定した状態になろうとする傾向がある。ヒッグス場も同じことだ。すなわち、ヒッグス場は 0 のエネルギー値を持って不安定な状態で対称性を維持することよりは、さらに安定しようとする傾向を持っている。もちろん、ヒッグス場はさらに低いエネルギー状態に落ちることによってさらに安定するが、対称性が崩壊する。安定した状態に行くために対称性が崩壊するとき、ヒッグス場は基本粒子に質量を与える。有形的実体がない状態ではゲージ対称性が存在するが、有形的実体が生成されるならば、必ずゲージ対称性は崩壊しなければならない。完全な対称状態では有形的存在があり得ないためだ。結局、量子論の法則に従う自発的対称性崩壊をとおしてこそ実体が生成されて存在することができる。したがって、哲学の実体生成と神学の創造過程が、対称性崩壊として説明されるのである。

4. 神学的意味

ヒッグス粒子の発見は神学的にどんな意味があるだろうか。科学的発見が、神学に投げかけるメッセージは果たして何だろうか。

(1) ヒッグスメカニズムの起源

全ての存在は、ヒッグスメカニズムの基礎になる量子論、特殊相対論、ゲージ対称性を持っている精巧さと厳密性を持っている。量子論、特殊相対論、ゲージ対称性の数式は、非常に精密で厳格だ。数式に現れる数多くの符号(+、-)の中で一つでも変われば自然現象を正しく説明できない。また、数式に現れる数字の少数点の一つでも違ったり、数字の一つでも違ったりしても、自然現象は正しく説明されない。今回のヒッグス粒子の発見も、99.999994%という精密度で確定した。そして、全ての存在は、特別な構造と特徴をそれぞれ持つ 17 個の素粒子で構成される。すなわち、特殊性、あるいは個別性が存在に内在する。これらによって、多様な存在の姿と存在様相を帯びているので、多様性もまた内在する。ところで、個別性と多様性は、矛盾したり衝突したりせずに全体の中で統一と調和をなしているので統一性も内在する。

このような属性は全宇宙にかけて、普遍的であり、宇宙歴史 137 億年間変わらずに維持されている。したがって、普遍性と不変性と一貫性も内在する。このような個別性と多様性、統一性と普遍性、不変性と一貫性が共存するということは、決して偶然なことでない。これら特性が偶然に、任意に、無計画的に共存することは非常に難しい。むしろ、特定の目的のためのデザインによって、これら特性が共存することになったと考えることがはるかに自然だ。ヒッグスメカニズムに関連した数式は、このような属性を持っている一つの精密で厳格なデザイン(設計図)だ。

超ひも理論(超弦理論)の物理学者ミチオ・カク(M.Kaku)は、法則と方程式の出处に対し質問している。「これからひも理論が万物理論として判明するならば、私たちはひも理論の方程式がどこからきたかを究明しなければならない。そして、アインシュタインが信じたように、統一場

理論が真理を叙述する唯一の理論ならば、その唯一性の根源を明らかにしなければならない。「秩序の神」を信じる物理学者らは、この宇宙が美しく単純であり、究極的な法則は偶然に現れたものではないと信じている。「私を含んだ一部の物理学者らの考えのように、真理の究極的な法則が 1 インチ余りの方程式として表現されるならば、いったいこの方程式の出处はどこなのか。」「これから物理学者らが、既存の全ての法則を誘導できる究極的な方程式を発見するとしても、一つ疑問は相変らず解けないだろう。「この方程式はいったいどこから来たのか。」

上記において、実体の内的要素のデザインには目的性と法則性が含まれていると述べた。デザイン(設計、構想)は、神学と哲学で「み言(Word)、あるいはロゴス(Logos)」と呼ばれる。聖書のヨハネ福音 1 章 1 節-3 節には宇宙の初めにみ言があり、そのみ言によって全てのものが創られたと記述されている。「初めに言があった。言は神と共にあった。言は神であった。この言は、初めに神と共にあった。万物は言によって成った。成ったもので、言によらずに成ったものは何一つなかった。」宇宙の初めに神と共にあり、万物を創ったというこのみ言(Word、Logos、design)に目的性と法則性が含まれているならば、自然科学の法則と方程式はこのみ言から始まったと見なければならぬだろう。

標準模型は、量子論の二重性・不確定性・量子化、特殊相対論の対称性・不変性、ゲージ対称性の普遍性・同一性・均一性・一貫性・不変性のような法則性を全て内包する。このような法則は、美しく、偽りがなく、善で、真の自由・平和・統一・幸福・喜びを創り出す。すなわち、法則は目的性(価値)と関連している。このような法則性と目的性の特性は、決して偶然には発生しにくい。宇宙と物質は、明らかな目的性(存在目的)と法則性(存在法則)によって存在する。偶然に(accidentally)、あるいは任意に(randomly)、このような目的性と法則性が形成され、また共存していると主張するのはナンセンスなレベルだ。

無形でも、有形でも、全ての存在には原因がある。古典物理的因果律でも、量子論的因果律でも、因果律は法則に従う。すなわち、原因は、古典物理的、あるいは量子論的因果律をとおして、結果を作り出す。これは究極的に全ての存在の第一原因であることを示唆する。そして、存在世界に内在する普遍性は、全ての存在が同一の「一つの原因」(第一原因)から始まったことを示唆している。

明らかな目的と法則が含まれているデザイン(design)にしたがって人間を含む宇宙と物質が生成され、存在し、作用し合い、発展するということが、むしろ自然であり、理致に適う。み言には目的性と法則性が共に内包されており、存在の性相的(内的)側面になる。結局、存在のソフトウェアということが出来るヒッグスメカニズムは、万有の起源・原因になる第一原因者(究極的 designer) から始まったといわなければならぬだろう。

(2) ヒッグス場の起源

それゆえ、ヒッグス場はどこから始まったのだろうか。ヒッグス場は基本粒子に質量を付与する能力をどこで与えられたのだろうか。

「量子真空」(quantum vacuum)は「絶対無の状態」でなく、「揺らぐエネルギーの海」だ。そ

して、量子真空(あるいは零点長、零点エネルギー)は激烈な活動の領域で、豊富な物理的構造をそそえており、物理法則(量子場論、超ひも理論)として記述される。現代物理学によれば、宇宙誕生の瞬間(0秒)で 10^{-43} 秒間の宇宙は超高温・超高エネルギー・超極微(10^{32}K 、 10^{19}Gev 、 10^{-33}cm)のプランクエネルギー領域だった。そして、四つの力(強い力、弱い力、電磁気力、重力)が完全に統合されて、超力(superforce)というただ一つの力になっていた。また、この期間の宇宙は有形的実体がない状態であり、完全な対称(perfect symmetry)を持っていた。超ひも理論によれば、この期間の宇宙は 11 次元の超空間(superspace)で、非常に不安定な状態であった。

現代物理学によれば、メキシコ帽子型のヒッグス場は、宇宙誕生後 10^{-11} 秒経過したとき、形成された。すなわち、このようなヒッグス場は宇宙誕生直後にはなかったが、宇宙が冷めながら形成された。このヒッグス場がなかった状態では粒子が質量を得られなくて、すべて質量「0」であり、根本的に同一だった。ヒッグス場がヒッグスメカニズムと共に基本粒子に質量を付与することによって、実体的な素粒子が生成された。したがって、ヒッグス場の根は、 10^{-43} 秒間以前の状態の超高温・超高エネルギー・完全な対称を持った超力、11次元で記述される超空間、激烈な活動をしながらか豊富な物理的構造を備えた量子真空だった。

それでは、このような量子真空はどこから由来したのだろうか。宇宙誕生の瞬間以前の世界はあるのだろうか。あるならば、いかなる目的性と法則性とエネルギーを持っているだろうか。その世界は宇宙とどんな関係を持っているだろうか。もちろん、ここでの宇宙はいわゆる多重宇宙(parallel universe、multiverse)を含んだ概念だ。現在の物理学ではその世界に対して説明できない。

精密性と厳格さを持っているヒッグスメカニズムと共にその途方もない超高エネルギー(10^{32}K 、 10^{19}Gev)の量子真空は果たしてどこから由来したのだろうか。本当に全く何もない状態で超高温・超高エネルギー、完全な対称を持った超力、11次元で記述される超空間、激烈な活動をし、豊富な物理的構造を備えた量子真空が偶然に自ら生じたのだろうか。これは論理的にも科学的にも可能性が希薄だ。したがって、私たちは量子真空の根源があることを認めざるをえない。それゆえ、存在のハードウェアといえることができるヒッグス場も窮極的に量子真空の起源・原因になる第一原因から始まったといわなければならないだろう。

(3) 「有から有」の立証

聖書は創世記 1 章 1 節「初めに、神は天地を創造された」において、この世界が神の創造によって始まったと説明する。神学と哲学では、長い間「無からの創造」(creatio ex nihilo)を議論してきた。この議論は「無からは何も出てこない」(ex nihilo nihil fit)という論理によって「神からの創造」(creatio ex deo)へと発展した。

問題は「無とは何か」だ。

現代物理学での無は、零点エネルギー(超力)、時間、空間、物質がないという意味であり、量子真空もない状態だ。もちろん現代物理学での無は、暗黒物質や暗黒エネルギーまでもない状態だ。宇宙の誕生の瞬間にエネルギー(超力)と時間と空間が始まったので宇宙誕生以前のエネルギー

(力)と時空間は物理学的に記述できない。すなわち、物理学は宇宙誕生以後の数理的論理構造と自然界エネルギーに土台を置いた理論であるので物理学的無の世界を記述できない。言い換えれば現在の物理学は宇宙誕生以前のどんな論理構造と自然界エネルギーも超越する、あるエネルギー(例えば霊界エネルギー)に対しては全く説明できず、記述することもできない。

だが、神学での無は「神の属性(性稟)と可能性(能力)さえない」ということを意味しない。すなわち、宇宙誕生以前に第一原因者の神の属性と可能性はすでに存在した。先在したこれらから、宇宙誕生の瞬間にあったデザイン(ソフトウェア)と零点エネルギー(ハードウェア)が由来したと見る。すなわち、宇宙誕生以前に自然界のデザインと零点エネルギーを発生させた原因が先に存在していた。人類歴史をとおして、数えきれないほど現れている現象、すなわち、自然界の論理構造とエネルギーによって説明できない霊的現象はこの点を傍証している。

宇宙(自然界)の開始に関して、諸宗教は各自の観点を持っている。現代物理学は、特別にこの点に関して、数理的論理性と実験測定をとおして、客観的に接近する。ヒッグス粒子の発見は、ヒッグスメカニズムとヒッグス場の存在を立証した。上記においてヒッグスメカニズムとヒッグス場の起源は第一原因者といった。

ヒッグス粒子の発見は、私たちにヒッグスメカニズムとヒッグス場の起源・原因を考えさせる。全ての存在は、デザイン(ソフトウェア)と質料(ハードウェア)という二重性を持ち、デザインは目的性と法則性の二重性を持つ。ヒッグスメカニズムとヒッグス場は、それぞれデザインと質料に該当し、ヒッグスメカニズムには目的性と法則性が内在する。このように全ての存在は、内的な性相と外的な形状の対になっているので、これを文鮮明総裁の教えである統一原理では「二性性相」という。デザインと質料、目的性と法則性、ヒッグスメカニズムとヒッグス場は、それぞれ二性性相という対になっているのだ。存在世界で発見される二性性相は、第一原因者から始まる。

ヒッグスメカニズムに内在する目的性と法則性は、存在世界に内在する目的性と法則性の原因になる。目的性は人類と宇宙万物が渴望する永遠で真の自由と平和と統一と幸福と喜びなどの内容だ。法則性は個別性と多様性、統一性と普遍性、不変性と一貫性などの内容だ。このような目的性と法則性も第一原因者から始まる。

第一原因者はデザインを設計した高等な存在、すなわち、デザインの主体(**designer**)だ。また、第一原因者は超高温と超高密度の状態の零点エネルギー(超力)を出現させた原因だ。デザインの設計者で、零点エネルギー(超力)の原因になる第一原因者を「神」だと呼ぶ。それゆえ、神は万有の創造主、本体となる。すなわち、神は宇宙の生成と発展、星団、銀河系、太陽系、地球の生成と存在原理に対する原因者だ。また、神は、素粒子、原子、分子、物質、植物、動物、人間の生成と存在原理に対する原因者でもある。

ヒッグスメカニズムの根源は、神のみ言(ロゴス)といえる。これは、存在の性相的(内的)要素の原因になる。そして、ヒッグス場の根は零点エネルギー(超力)といえるが、この根源は神だ。統一原理は、零点エネルギー(超力)の根源を神の原力、あるいは前エネルギー(**pre-energy**)として説明する。したがって、ヒッグス場の根源は、神の原力(前エネルギー)といえる。これは、存

在の形状的(外的)要素の原因になる。

統一原理の哲学的理論である統一思想はm存在の生成過程を 2 段階で説明する。第一段階は、目的性(内的性状)と法則性(内的形状)が統合されてみ言(ロゴス)を形成し、第二段階はみ言と原力(前エネルギー)が統合されて実体を形成する。この観点から見れば、第一段階はヒッグスメカニズムが形成される段階であり、第二段階はヒッグスメカニズムとヒッグス場により質量を付与することによって実体を形成する段階といえる。結局、統一原理は「無から有」ではなく「有から有」と見る。

5. 宗教と科学の統一的意味

(1)目的性と法則性の調和

アインシュタインは神に関する名言を残した。例えば、「私は神の心を知りたいだけだ。」 「私は一生、神の作品の中で神を探そうと努力した。」 「神は到達できないものを作られなかったであろう。」 「神は私たちに隠すものがない。」 「神はサイコロ遊びなどはしない。」

ヒッグスメカニズムは、特定の目的性を指向する面がある。私たちは、無限に多様な値の質量と電荷とスピンを持つ粒子が可能だと想像することができる。ところで、ヒッグスメカニズムはなぜ特定の値(質量、電荷、スピンなど)を持つ 17 個の粒子だけを作るのだろうか。17 個の粒子は、なぜ特別な秩序体系を持っているのだろうか。実際、これら粒子は、とても特別な方法で素粒子周期律表を成す。

とても厳密で特別な秩序体系は、陽性子と中性子、原子核と原子、分子と物質(固体、液体、機体、プラズマ)の形成にそのまま反映される。この秩序体系は、DNA と細胞、植物と動物、さらには最高の霊長である人間の誕生と生存と成長と完成にも反映される。このような特別な秩序と体系の理由を、科学はうまく説明できない。物理学者らは、その理由をいわゆる微細調整(fine tuning)と関連した「人間原理」(anthropic principle)として説明したりもする。

宇宙誕生の瞬間の初期条件は特別に選択されたのであり、その選択は驚くべきことに 137 億年間変わらないでそのまま維持されてきた。ヒッグスメカニズムに内在している目的性と法則性は、宇宙誕生の瞬間から今まで、衝突し合うこともないまま統一と調和を作り出してきた。

(2)宗教と科学の統一的課題

科学と宗教はその叙述方式に差があるが、本質的には宇宙万物の起源と存在原理を探してきた。アインシュタインは「宗教のない科学は不完全であり、科学のない宗教は盲人である」と言った。宗教と科学が依存し合うとき、各自は完全になる。歴史的に宗教と科学は、四つの段階を経てきた。すなわち、批判し合う段階、お互いに無関心な段階、認め合う段階、必要とし合う段階だ。現在は、最後の段階、すなわち、宗教と科学が相補的(complementary)関係を結んで必要とし合う段階に関心が多い。

科学と宗教の協力・一致は何を意味するのか。なぜ私たちは宗教と科学を統一しようと思うのか。

私たちはどのようにしてそれができるのか。誰がそれをするだろうか。そういうことは今日、可能なのか、あるいは、未来において可能なのか。これは自然界で可能なのか、あるいは、自然界と霊界を共に考慮した全体においてのみ可能なのか。

神学的、宗教的に議論されてきた創造(creation)のプロセスが、ヒッグスメカニズムによって説明された。創造が具体的にどのように成されたのかに対するプロセスは、宗教では説明できない。宗教は、ヒッグスメカニズムという科学をとおして、確信と理解が深まった。反面、ヒッグスメカニズムの概念と方程式には、目的性が内在している。ヒッグスメカニズムを含んだ自然法則は美しく、偽りがなく、善だ。したがって、ヒッグスメカニズムにより生成された粒子と物質と宇宙は、真なる自由と平和と統一と幸福と喜びを与えてくれる。すなわち、科学は目的性を追求する宗教をとおして、確信と理解が深まった。結局「宗教ある科学は不完全ではなく、科学ある宗教は盲人ではない」ということを成就したわけだ。

統一原理の入門書の『原理講論』は、宗教と科学はそれぞれ人間の内的、外的無知を克服するための真理追求の内外の方便だと説明する。「人間が（このような）無知から完全に解放されて、（本心の欲望が指向する善の方向へのみ進み、）永遠の幸福を獲得するためには、宗教と科学とが統一された一つの課題として解決され、内外両面の真理が相通ずるようにならなくてはならないのである。」（日本語版『原理講論』（2003）、24 ページ）「内的真理にも論証的な解明が必要になり、宗教は長い歴史の期間を通じて、それ自体が科学的に解明できる時代を追求してきたのである。」（同上、29 ページ）

宗教と科学が統一された一つの課題として問題を解決しようとするとき、完全な真理を明らかにすることができる。すなわち、宗教と科学は洞察、啓示、論理、観察などの方法により、人間と宇宙の存在理由、存在目的、存在法則などをより根本的に理解することができる。

6. 新しい世界への挑戦

ヒッグス粒子の発見が全てのを解決する究極的理論ではない。ノーベル賞委員会は「ヒッグス粒子を土台にした標準模型が宇宙生成のなぞを解く最後の段階ではないので、行き過ぎた拡大解釈をしてはならない」と言った。ヒッグス粒子の発見は宇宙の初めの対称性が崩壊して粒子が質量を得、原子が形成されて宇宙が枠組みを構え、ついに人類が誕生するようになるストーリーの一部だ。

標準模型は最小限、四つの観点において限界性を持っている。

第一に、標準模型は 19 個の常数が説明できない。標準模型には任意に定めなければならない自由因子が 19 個ある。6 個のクォークの質量、3 個のレプトンの質量、1 個のヒッグス質量、そして、9 個の結合常数だ。ところで、標準模型はこれら常数がなぜその値でなければならないのかを説明できない。すなわち、なぜ必ずその値を持ってこそ宇宙万物が形成され、発展して、維持されるのか、標準模型は説明できない。これはヒッグスメカニズムの自発的対称性崩壊がなぜ他の値を自発的に生成しないかに関する問題だ。そして、標準模型はニュートリノの質量を正確

に「0」として仮定しておいた。だが、ニュートリノの質量が0でないという観測結果が出るのも問題だ。

第二に、標準模型は3世代と電荷を説明できない。標準模型には素粒子が3個の世代を成し、各世代は特別な構成をしている。ところで、標準模型はなぜ3世代だけあって、各世代はなぜそのように独特の構成をするのか説明できない。また標準模型は電荷の量子化(+2/3、0、-1/3、-1)が、どうして生ずるのかに対しても説明できない。

第三に、標準模型は重力を説明できない。標準模型は、強い力と弱い力と電磁気力に対する理論であり、重力と関連した要素が一つもない。標準模型が、重力に対して何も説明できないということは致命的だ。また、標準模型は、プランクエネルギー近辺の高エネルギーにおいても誤った予測をする。

第四に、標準模型は暗黒物質と暗黒エネルギーを説明できない。現代物理学によれば、宇宙の構成要素のうちの96%は正体不明な暗黒物質(dark energy)と暗黒エネルギー(dark matter)だ。暗黒エネルギーは宇宙全体の73%程度で、暗黒物質は23%程度だ。それらは、宇宙に必ず存在しなければならないが、直接測定することもできず、標準模型に適用されることもない。実際、標準模型は、残り4%に該当する一般エネルギーと普通物質に対してのみ適用される。標準模型は宇宙の96%に対しては説明できないとのことも、深刻な問題だ。標準模型には、暗黒物質の候補になるほどの素粒子が一つもない。実際、暗黒物質を探すのはLHCの重要な課題の一つだ。したがって、暗黒物質と暗黒エネルギーの存在は、標準模型を越えた新しい物理学がなければならないことを示唆する。

物理学者らは、この限界性を解決することができる新しい物理学を探している。それは、標準模型を越える新しい概念を要求する。例えば、超対称性理論(supersymmetric theory)、大統一理論(Grand Unified Theories、GUT)、余剰次元理論(extra dimension theory)、超ひも理論(supersymmetric string theory)、万物理論(Theory of Everything, TOE)などがそれだ。それらは、例えば、暗黒物質の質量形成、暗黒物質と普通物質の相互関係、暗黒エネルギーと一般エネルギーの相互関係、暗黒物質と暗黒エネルギーを含む方程式などを探求する。

標準模型は、このような可能性に対する予備的役割をしている。

標準模型は、自然を説明する窮極理論、あるいは最終理論では決してない。だが、標準模型は、前に進むための大きな踏み石になるのは明らかだ。存在原理の二重性(二性性相)を考慮するならば、法則性に立脚した自発的対称性崩壊(SSB)と目的性に立脚した「意図的対称性崩壊」(Intentional Symmetry Breaking, ISB)も考慮できる。そして、存在世界の二重性を考慮するならば、自然界に立脚した物理法則と霊界に立脚した「天理法則」も考えてみるはずだ。もちろん、自発的対称性崩壊と意図的対称性崩壊、物理法則と天理法則は、それぞれ、あるいは総体的に調和・統一されなければならないだろう。

果たして究極的な最終理論は何だろうか。ノーベル物理学賞受賞者のスティーブン・ワインバーグ(S.Weinberg)は、「最終理論はただ一つの意味においてのみ最終的であろう。最終理論が特定の種類の科学、すなわち、それよりさらに奥深い原理によって説明できない原理に対する古来の

探求を終結させるという意味においてということだ。」果たして「古来の探求を終結させることができる」理論は何だろうか。彼は無神論を支持するので、神からその答えを探そうとしない。究極的な最終理論は、自然界と霊界に存在する万有の究極的原因を中心とした理論にならなければならない。万一、究極的原因が神ならば、その理論は神を中心とした理論にならなければならないだろう。神を中心とした「神物理学」をとおしてこそ、私たちは存在の統合的、本質的、究極的な理解が可能になるのかもしれない。神粒子 (God Particle)の発見を契機に神物理学(God Physics)の定立を期待する。

参考文献

- Jin Choon, Kim. *Essential Teachings of True Parents of Heaven and Earth and Humankind*. Textbook of Cheongshim Graduate School of Theology (Not published), 2013.
- _____. 「God' Existence from the view of Modern Physics」. *Cheongshim Journal*, 9(2013): 32-4
- _____. 「A Study of Unification Physics from the view of Symmetry」.
The 20th International Symposium of Unification Thought, 2008, Tokyo, Japan.
- _____. 「The Cosmology of the Cheon Il Guk Physics」. *Cheongshim Journal*, 10(2013): 5-42.
- Soon Gon, Nam. *String Cosmos*. Ko-yang: Jiho Pub. Co., 2007.
- HSA-UWC. *Divine Principle*. Seoul: Seonghwa Pub. Co., 1995.
- Unification Thought Institute. *Essentials of Unification Thought*. Seoul: Seonghwa Pub. Co., 1994.
- P. Davies. *The Mind of God*, translated by Science Generation. Seoul: Hanteot, 1994.
- B. Greene. *The Hidden Reality*, translated by Byeong Cheol Park. Seoul: Kimyoung Pub. Co., 2012.
- S. Hawking and L. Mlodinow. *The Grand Design*, translated by Dae Ho Jeon. Seoul: Kachi, 2010.
- Newton Highlight. 『The Universe was born from Nothing』. Seoul: Newton Korea, 2009.
- _____. 『Dark Matter and Dark Energy』. Seoul: Newton Korea, 2013.
- M. Kaku. *Parallel Worlds*, New York: Anchor Books, 2005.
- L. Randall. *Warped Passages*, NY: HarperCollins Pub., 2005.
- _____. *Higgs Discovery* tr. by Kang Young Lee, Yeon Jung Kim, Min Jae Lee. Seoul: Science books, 2013.
- L. Krauss, *A Universe from Nothing*, tr. by Byung Cheol Park. Seoul: Seongsan, 2013.
- L. Susskind, *The Cosmic Landscape*, tr. by Nak Woo Kim. Seoul: Science books, 2011.
- S. Weinberg. *Dreams of a final theory*, tr. by Jong Pil Lee. Seoul: Sciencebooks, 2007.