

## 우주과학의 제분야와 최근 현황

경희대학교 이 동 훈

우주과학은 30여년 전 로켓과 위성체를 비롯한 우주공학의 발전에 의해 지구대기층보다 먼 외계 공간에서의 실험이 가능함으로써 시작되었다. 현재까지 우주과학에서 파생된 지식은 실로 막대하다. 우선 기존 천문학 분야에선 EUV 및 X선, 감마선 등 새로운 주파수 영역으로 우주를 바라볼 수 있게 되었고 Hubble 망원경으로 대기의 방해를 벗어나 정밀한 화상을 얻게 되었다. 또한, 지구를 내려다볼 때 위성통신, 원격탐사 등 각종 통신과 특정 대상의 위치, 분포조사가 전체적으로(globally) 가능하게 되었음은 주지의 사실이다. 그러나 우주과학의 등장에서 가장 중추적인 역할을 하게 된 것은 우주공간물리학 분야라고 할 수 있다. 우주과학 실험의 특징은 먼 곳에 대한 관측보다는 발사체가 지나가는 지점의 물리적 상태를 직접 측정할 수 있다는 점에 있다. 즉, 천체관측이나 원격탐사 뿐만 아니라 멀리서 관측이 불가능한 해당 우주공간에 위성 등을 보내어 그 지역을 직접 조사하는 것이다. 이를 in situ 실험이라 부르며 우주과학의 고유 영역을 지칭하는 의미로 받아들여지기도 한다. 우주공간물리학은 이런 직접 실험들의 결과를 연구하는 분야이다. 우주공간이 모두 전리 상태(plasma)로 되어 있으므로 이를 연구하기 위해서는 플라즈마물리학, 자기유체역학, 전자기동역학 등의 여러 지식을 필요로 한다.

우주공간물리학을 통하여 얻은 우주환경에 대한 지식은 매우 새롭다. 우주과학이 시작되기 전에도 오랜 역사를 가진 광학망원경과 반세기 전부터의 전파망원경에 의해 '먼 우주'에 대한 관측은 다양하게 이루어졌으며 현재 비교적 많은 양의 지식을 갖고 있다. 한편 지상에서 관측이 불가능한 지구 근처의 '가까운 우주공간'의 구조와 성질은 우주과학이 발달하기 전에는 거의 알 수 없었다고 해도 과언이 아니다. 태양 활동에 따라 나타나는 지구에서의 여러 자연현상(예로써 흑점수와 플레어 발생에 따른 오로라 및 전파장애, 기상변화 등)은 우주과학을 통해서 알게 된 독특한 성과이다. 학문적인 측면에 있어서도 우주공간은 매우 중요한 역할을 한다. 우주에서의 자기장의 역할, 비충돌형 충격파의 존재, 자기장과 충격파에서의 입자들의 운동과 가열 과정, 행성 전리층과 자기권과 태양풍의 상호 작용 및 우주공간의 전류의 존재와 기능 등에 관한 연구는 기존 천체 현상을 이해하는 중요한 실마리를 제공하여 우주선 입자들의 발생, 성간풍 및 외부우주풍 등을 연구하는데 실험적인 모태가 되기도 한다.

이러한 직접 실험들을 토대로 한 우주과학은 크게 3가지로 나눌 수 있다. 태양 표면에서부터 행성간의 우주공간을 다루는 태양풍과 태양계 영역, 각 행성의 자기권 영역, 외부우주공간과 각 행성의 대기의 경계에 해당되는 고층대기 및 전리층 영역이다. 태양 표면 활동과 태양풍의 발생 과정은 지구의 우주환경에 미치는 영향을 고려할 때 매우 중요하다. 위성 등에서 관측한 X선, EUV 등은 기존 광학 및 전파 망원경에서 연구된 태양물리학에 큰 도움이 되고 있으며 행성간 공간의 입자들의 운동과 전기장, 자기장의 측정은 태양계 공간의 구

조와 형태를 파악하는데 쓰이고 있다. 또한 각 행성들이 자전운동에 의해 갖게 되는 자기장의 영역, 즉 자기권에 이르면 태양풍이 제공하는 에너지에 의해 매우 다양한 종류의 상호 작용이 발생하게 되어 행성의 근접 우주공간은 복잡한 형태의 전류와 자기장 구조를 갖게 된다. 여기서는 비단 공간적인 구조뿐만 아니라 시간에 따라 커다란 변화를 갖게 되며 이러한 변화는 고층대기와 전리층에 직접적인 전자기적 교란을 주게 된다.

이들 영역간의 상호 관계는 상당 부분 유기적이며 때로는 전체적인 이해를 필요로 한다. 예를 들어 태양 플레어에서 다량의 고에너지 태양풍이 분출되면 이는 지구자기권에 풍압을 증가시키고 막대한 양의 전기동역학적인 에너지를 제공하여 자기권 내부의 전류를 크게 섭동시킨다. 이들 전류들의 일부는 전리층에 직접 흘러들어 전리층에 교란시키고 다시 낮은 고도의 전리층에 유도전류를 발생시켜 지상의 전기적 상태를 변화시킨다. 이런 일련의 변화는 그 섭동 정도에 따라 통신을 마비시키며 장거리 케이블 및 송유관 등을 파괴하기도 하며 우주공간에서 위성의 전자기기를 손상시켜 커다란 피해를 입게 한다. 최근 위성통신 산업이 급속히 성장됨에 따라 우주환경의 중요성이 강조되어 태양활동, 태양풍 및 지구자기권과 전리층 그리고 지상 자기장 관측을 이용한 우주 환경 예보에 관한 연구가 크게 주목받고 있는 실정이다.

우주과학에 있어 세계 선진국들은 단순한 탐사, 즉 관측을 통한 단순한 이해(understanding)를 넘어서서 각종 실험 장치로써 새로운 대상을 탐사하고 우주공간을 실험실로 사용하는 개념(exploration)으로 발전하고 있는 추세이며 계획을 추진하는데 있어서도 국제적인 공동작업과 장기 계획에 따라 보조를 맞추고 있다. 한국의 경우 지난 몇 년간 우주과학의 빠른 성장을 보이고 있다. 즉, 고층대기의 오존 측정을 위한 과학 1, 2호 로켓과 입자측정기, 자세제어용 3축 자력계와 기타 통신기기 및 CCD 등을 장착한 우리별 1, 2호 위성을 올림으로써 그 실험들의 여러 문제점을 고려하더라도 시작을 알리는 큰 의미를 갖게 되었다. 현재 계획된 우리별 3호 및 다목적 실용 위성 등에서 실험의 규모 및 정밀성 등이 향상될 예정이고 또한 통신위성 무궁화호의 통신 운용에 있어 우주과학의 역할이 증가할 것으로 예상되므로 국내에서 빠른 인적, 자원적 신장이 기대된다.

다음에 수록된 내용은 미국 학술원(NAS: National Academy of Sciences) 산하 우주과학위원회(Space Science Board)에서 미항공우주국(NASA)과 함께 1985년에 작성한 21세기 초까지의 미국 우주공간물리학 장기발전계획서(An Implementation Plan for Priorities in Solar System Space Physics)의 첫장 내용이다. 이 보고서는 1982년 NAS에서 작성한 천문학 분야의 장기발전계획서 Astronomy and Astrophysics for the 1980's와 1983년 NASA에서 작성한 Planetary Exploration Through Year 2000에 보조를 맞추기 위하여 작성된 것이다. 위에서 필자가 간단히 언급한 여러 내용과 더불어 우주과학에 관심이 있는 독자들에게 참고가 되기를 바란다.

Man's wonder at the manifold phenomena in the environment and the drive to understand and use them have led to modern science. To understand

the relationship between natural events on the Earth and changes in the Sun has been one of man's lasting intellectual quests. The scientific discipline we now know as solar system space physics is the modern culmination of efforts to comprehend the relationships among a broad range of naturally-occurring physical effects including solar phenomena, terrestrial magnetism, and aurora. Understanding the solutions to these basic physics problems requires the study of ionized gases (plasmas), magnetohydrodynamics, and particle physics.

Space physics as an identifiable discipline began with the launch of the first Earth satellites in the late 1950s and the discovery in 1958 of the Van Allen radiation belts. The phenomena associated with this field of study are among the earliest recorded observations in many parts of the world. The ancient Greeks were puzzled by "fire" in the upper atmosphere that we now call the aurora; there are several possible references to the aurora in ancient Chinese writings before 2000 B.C.; there are also passages in the first chapter of Ezekiel with vivid descriptions of what we now recognize as auroral formations.

The observation of sunspots by Galileo in 1610 led to the eighteenth century discovery of the 11-year solar sunspot cycle and the recognition that there was a connection between sunspot variability and auroral activity. The large reduction of sunspots during the second half of the seventeenth century during a period of unusually cool weather in Europe suggests a tantalizing connection between some aspects of solar activity and climate.

This possible link between solar activity and terrestrial phenomena could not be studied in detail until this century. We now know that, in addition to the atmosphere that surrounds us, there exists a region, at higher altitudes, consisting of an electrically conducting plasma permeated by the Earth's magnetic field. It is called the "magnetosphere" because its structure and many of its processes are controlled by the magnetic field. Since the early years of the space program, we have learned that the Sun has its own magnetosphere consisting of a hot (million-degree Kelvin) magnetized plasma wind (the solar wind) that extends beyond the orbits of the planets and fills interplanetary space, forming a distinct cavity in the nearby interstellar medium—the "heliosphere."

Using knowledge gained over the past 25 years, we can now begin to identify some of the physical mechanisms linking the Sun to our near-Earth

environment. For example, motions in the convective layers of the Sun are believed to generate the solar magnetic field and solar wind variations; these in turn affect the Earth's magnetosphere and regulate the amount of plasma energy incident on the Earth's polar caps. Associated magnetospheric activity drives strong winds in the upper atmosphere and may influence the dynamical and chemical composition of the mesosphere and stratosphere as well. The upper atmosphere, in turn, is the major source of heavy ions in the magnetosphere. Further, current research suggests that small percentage changes (about 0.5 percent) in the total energy output of the Sun (the solar "constant") may influence short-term terrestrial climate. These and other speculative suggestions should be addressed as part of a comprehensive research program in solar-terrestrial physics because of their potential importance for the Earth. Indeed, the Earth and its space environment contain coupled phenomena and need to be studied as a system—from the Sun and its plasma environment to the Earth's magnetosphere, atmosphere, oceans, and biota.

Discoveries in solar and space physics over the past 25 years have inspired a number of developments in theoretical plasma physics. Concepts in charged particle transport theory, developed to describe the behavior of energetic particles in the solar wind and magnetosphere, are routinely used in studying extragalactic radio sources and laboratory plasmas. Magnetic field reconnection (involving the explosive conversion of electromagnetic energy into particle energy), collisionless shock waves, electrostatic shocks, and hydromagnetic turbulence are also among the fundamental plasma phenomena first studied and elucidated in analysis of solar and space plasmas.

Subsequently, these and other concepts have found application to related branches of plasma physics, such as nuclear fusion. The development of space plasma physics since the 1960s has influenced nuclear fusion research. Pitch-angle scattering and magnetic reconnection are now tools of laboratory plasma theory, while ideas developed in fusion work have influenced space plasma science in important ways. Thus, the language of plasma physics links two very important science endeavors: the search for a limitless supply of clean energy through thermonuclear fusion and the exploration and understanding of our solar system environment, most of which is in the plasma state.

New concepts developed in studied of solar and space plasmas find important applications to astrophysical problems as well as to laboratory plasmas. For example, the structure of collisionless shock waves can be resolved only by spacecraft instruments. Such shocks are invoked in some current models of star formation. Furthermore, the study of propagating interplanetary shocks has contributed to understanding and modeling of acceleration of cosmic rays by shocks. Particle acceleration via direct electric fields, observed in the Earth's magnetosphere, has been invoked in acceleration models of pulsar magnetospheres. The subject of cosmic-ray transport owes much to detailed in situ studies of the solar wind. Some stellar winds are thought to be associated with stars that, like the Sun, have convective outer layers, while winds of more massive stars are driven by radiation pressure. Explanations of physical phenomena in astrophysical objects that will remain forever inaccessible to direct observation rest heavily on insights obtained through studies of solar system plasmas accessible to in situ observations.

Even though space plasma physics is a mature subject, new observations continue to reveal facets of the physics not recognized previously. For example, observations of "spokes" in Saturn's rings seemed to highlight the importance of electromagnetic forces on charged dust particles. Similarly, the interaction of dust and plasma in comets is thought to be a central element in understanding the formation of comet ion tails. Such observations have given rise to the study of "gravito-electrodynamics" in dusty plasmas, which in turn has important applications to be understanding of the formation and evolution of the solar system, as pointed out by Alfvén some years ago.

The understanding of the near-Earth space environment is not only a basic research enterprise; it also has extremely important practical aspects. Space is being used increasingly for many different scientific, commercial, and national security purposes. Well-known examples include communications and surveillance satellites and such scientific platform as the Space Telescope and the Space Station. These space vehicles must function continuously in the near-Earth environment, subject to the dynamic variations of the heliosphere, the magnetosphere, and the upper atmosphere. It is well-established that many spacecraft systems and subsystems exhibits anomalies, or even failures, under the influence of magnetospheric substorms, geomagnetic substorms, and

solar flares. Processes such as spacecraft charging and "single-event upsets" (owing to highly ionizing energetic particles) in processor memories make the day-to-day operation of space systems difficult. Finally, these aspects of near-Earth's environment become particularly important in view of the planned long-term presence of man in space. The complement of programs outlined in this report will allow us to model the global geospace environment and will thus allow us to develop a global predictive capability. This, in turn, should permit substantial improvements in our abilities to operate all space-based systems in the near-Earth region.

We have advanced well beyond the exploratory stages in solar and space physics, with some notable exceptions—the solar interior, the environment near the Sun where the solar wind is accelerated, the atmospheres of some of the planets, and the boundary of the heliosphere. The phenomenological approach appropriate to a young science still in its discovery phase has progressed to a more mature approach where focussed and quantitative investigations are made, where interactive regimes are studied, and where theory and modeling play a central role in advancing understanding.

The future solar and space physics program will require tools and techniques substantially different from those of the past. Continued progress will require development of complex, multifaceted, experimental and observational projects that will be technologically challenging. We believe that the anticipated scientific contributions fully justify the proposed undertakings.

The purpose of this report is to develop an overall program of space research that will address the most significant scientific problems, that will clearly define the priority of investigations, and that will be affordable by NASA...(이하 생략)