

SESSION V

SCHOOL EDUCATION
ON
SCIENCE,
ENERGY/ENVIRONMENT,
AND
NUCLEAR PROBLEMS

TUESDAY, AUGUST 24

5.1 A vision of radiation education from the American perspective

Dr. Ronald J. Bonnstetter

Secondary Science Education
University of Nebraska – Lincoln
Lincoln, NE 68588-0355 USA
rjb@unl.edu

Abstract

Skin cancer is increasing faster than any other form of cancer in the USA. There is a general lack of knowledge regarding the consequences of over-exposure to UV radiation. Thirty-percent of those living below latitude 37 degrees, will develop skin cancer during their lives. Peer pressure to be tan causes increasing numbers of young people to play solar roulette. This is just one of many topics that must be addressed in science programs. To set the stage for understanding the significance of this problem, the paper first discusses the current status of radiation education and nuclear energy education in the USA as well as specific radiation misconceptions held by both students and their teachers. The paper then describes; how cultural norms are increasing the risks, the science behind skin cancer, unavoidable and avoidable risk factors, and the factors that are increasing the incidence of skin cancer including the thinning of the ozone layer. The paper then reviews the current educational materials being developed and used to inform and influence our youth to the risks of sun exposure and the philosophy behind many of these endeavors. The paper concludes that the future is bright, if educational leaders recognize the opportunity to employ problem based learning experiences and address the National Science Education Standards by utilizing critical thinking skill development through such teaching approaches as the jurisprudential model and real world experiences. Radiation education is presented as a topic rich with personal and society issues and not just a scientific set of facts for our students to learn. The paper concludes with a case of tanning as a context for learning and a backdrop for teaching important educational concepts.

A vision of radiation education from the American perspective

Current status of radiation education and nuclear energy education in the USA

To create a more scientifically literate society, the *National Science Education Standards* were developed and adopted in 1996 (NRC, 1996a). These standards not only provided a description of what students should know about the major science fields, including the concepts of radiation and nuclear energy, they also defined for the first time the need for other components of science required of a scientific person, including an understanding of: 1. Unifying concepts and processes, 2. Science as inquiry, 3. An understanding of the history and nature of science, 4. Science and technology, and 5. Science in personal and social perspectives. In addition, these science education components were further broken down into three age appropriate levels, thus creating for the first time an image of what content is appropriate for different cognitive levels.

Table One provides an overview of what science content, for the three broad areas of science (physical science, life science, and earth and space science) should be taught.

Table One: Physical Science Standards

Grade Levels K-4	Grade Levels 5 – 8	Grade Level 9 - 12
Properties of objects and materials Position and motion of objects Light, heat, electricity, and magnetism	Properties and changes of properties in matter Motions and forces Transfer of energy	Structure of atoms Structure and properties of matter Chemical reactions Motions and forces Conservation of energy and increase in disorder Interactions of energy and matter

Notice how concepts are revisited from the early grades through high school, with greater specificity as the expectations of student's cognitive development increase. Thus the national standards provide increased emphasis on abstract and conceptual understandings as student's progress from kindergarten to grade 12.

While radiation and nuclear energy are not specifically mentioned in these broad concept headings of Table One, certainly the bolded statements provide opportunities to explore these topics. It is also important to note the lack of emphasis at the lower grade levels. Radiation and Nuclear energy are very abstract concepts and should not be taught at points in a child's development when such teachings could result in more conceptual misunderstandings than accurate foundational development.

But the greatest contribution of the National Science Standards was not the defining of the three traditional science content areas of life, physical, and earth and space science, but the expansion of what the science content must include. These newly defined content themes embrace five additional areas of emphasis: (1) Unifying concepts and processes, (2) Science as inquiry, (3) An understanding of the history and nature of science, (4) Science and technology, and (5) Science in personal and social perspectives.

It is these five content areas that give radiation and nuclear energy topics their greatest opportunities for teaching. Tables Two through Four offer insights into how all eight areas are to be addressed in science curriculum, as a student moves from early schooling to high school graduation.

Table Two: Grades K-4 Content Standards

Unifying Concepts	Science as Inquiry	Physical Science	Life Science
Systems, order & organization	Abilities necessary to do scientific inquiry	Properties of objects & materials	Characteristics of organisms
Evidence, models, & explanation	Understandings about scientific inquiry	Position and motion of objects	Life cycles of organisms
Change, constancy, & measurement		Light, heat, electricity, & magnetism	Organisms & environments
Evolution & equilibrium			
Form and function			
Earth & Space Science	Science & Technology	Science in Personal & Social Perspectives	History & Nature of Science
Properties of earth materials	Abilities of technological design	Personal health	Science as a human endeavor
Objects in the sky	Understandings about science and technology	Characteristics & changes in populations	
Changes in earth and sky	Abilities to distinguish between natural objects and objects made by humans	Types of resources	
		Changes in environments	
		Science and technology in local challenges	

Table Three: Grades 5 - 8 Content Standards

Unifying Concepts	Science as Inquiry	Physical Science	Life Science
Systems, order, & organization	Abilities necessary to do scientific inquiry	Properties and changes of properties in matter	Structure and function in living systems
Evidence, models, & explanation	Understandings about scientific inquiry	Motion and forces	Reproduction & heredity
Changes, constancy, & measurement		Transfer of energy	Regulation & behavior
Evolution & equilibrium			Populations & Ecosystems
Form and function			Diversity and adaptations of organisms
Earth & Space Science	Science & Technology	Science in Personal & Social Perspectives	History & Nature of Science
Structure of the earth system	Abilities to technological design	Personal health	Science as a human endeavor
Earth's history	Understandings about science & technology	Populations, resources, & environments	Nature of the science

Earth in the solar system		Natural hazards Risks & benefits Science & technology in society	History of science
---------------------------	--	--	--------------------

Table Four: Grades 9 - 12 Content Standards

Unifying Concepts	Science as Inquiry	Physical Science	Life Science
Systems, order, & organization Evidence, models, & explanation Changes, constancy, & measurement Evolution & equilibrium Form and function	Abilities necessary to do scientific inquiry Understandings about scientific inquiry	Structure of atoms Structure & properties of matter Chemical reactions Motions & forces Conservation of energy & increase in disorder Interactions of energy & matter	The cell Molecular basis of heredity Biological evolution Interdependence of organisms Matter, energy, and organization in living systems Behavior of organisms
Earth & Space Science	Science & Technology	Science in Personal & Social Perspectives	History & Nature of Science
Energy in the earth system Geochemical cycles Origin & evolution of the earth system Origin & evolution of the universe	Abilities to technological design Understandings about science & technology	Personal & community health Populations growth Natural resources Environmental quality Natural and human-induced hazards Science & technology in local, national, & global challenges	Science as a human endeavor Nature of the science Historical perspectives

Unifying Concepts and Processes

If any one of the eight content standards could be considered more important than the others, I believe it would be unifying concepts and processes. There is an expectation that this first standard be a part of every other component taught in a K-12 science classroom. Therefore, it is important to understand this standard and its implications.

The tables two through four provide an insight into the unifying concepts to be addressed at various grade levels, but the processes of science are unfortunately assumed. The following list of process skills is required to be present throughout the student's science training and these skills are to be addressed at progressively higher cognitive levels, as they moves through their schooling.

Basic Science Process Skills: an overview

Observing - using the senses to gather information about an object or event. Example: Describing the color of an apple.

Inferring - making an "educated guess" about an object or event based on previously gathered data or information. Example: Saying that a person is having trouble writing a paper because his waste paper basket is full of wadded up paper.

Measuring - using both standard and nonstandard measures or estimates to describe the dimensions of an object or event. Example: Using a stop watch to measure how many seconds it takes as object to fall two meters.

Communicating - using words or graphic symbols to describe an action, object or event. Example: Describing the change in daily average temperature for your city during the course of a year in writing or through a graph.

Classifying - grouping or ordering objects or events into categories based on properties or criteria. Example: Placing all shoes having shoe-laces into one group.

Predicting - stating the outcome of a future event based on a pattern of evidence. Example: Predicting how long in seconds it will take an object to fall three meters, based on data from one and two meter readings.

Integrated Science Process Skills

Controlling variables - being able to identify variables that can affect an experimental outcome, keeping most constant while manipulating only the independent variable. Example: Shooting a water rocket with various amounts of water in a two-liter bottle while maintaining the same angle of launch, the same launch pressure and by using the same rocket as controls.

Defining operationally - stating how to measure a variable in an experiment. Example: Stating that the water added to the rocket will be measured in milliliters.

Formulating hypotheses - stating the expected outcome of an experiment. Example: Hypothesizing that the more water added to the rocket, the greater the launch height.

Interpreting data - organizing data and drawing conclusions from it. Example: Recording data from the experiment on rocket height verse amount of water and predicting an amount of water that would result in the highest launch height.

Experimenting - being able to conduct an experiment, including asking an appropriate question, stating a hypothesis, identifying and controlling variables, operationally defining those variables, designing a "fair" experiment, conducting the experiment, and interpreting the results of the experiment. Example: The entire process of conducting the water rocket experiment.

Formulating models - creating a mental or physical model of a process or event.
Examples: The model of the amount of water versus air in a 2-liter water rocket and how these changes affect launch height.

Both basic and integrated process skills are crucial to the understanding of science and the rules that must be followed by scientists. These skills must be present as we develop radiation education lessons, or as we address any other science concept.

Opportunities to employ problem based learning and critical thinking skill development

As previously stated, the implementation of the national standards created a new emphasis that went well beyond the traditional view of K-12 science education. The new focus called for teachers to address, inquiry, science related issues, science as a world-view, and to put science topics into an historical context.

It is these arenas that provide the greatest opportunities to expand our future generations understanding of radiation education and nuclear energy. For without these tools, these topics are just another body of knowledge to be memorized and regurgitated back on some exam. But by using the five additional National Standards themes, these topics can come alive with personal insights and life long connections.

As Robert Delisle, 1997, stated, "Education involves either problem solving or preparation for problem solving... When teachers and schools skip the problem-formulating stage handing facts and procedures to students without giving them a chance to develop their own questions and investigate by themselves students may memorize material but will not fully understand or be able to use it. Problem-based learning (PBL) provides a structure for discovery that helps students internalize learning and leads to greater comprehension."

Maybe the most exciting current development in science education is the renewed and expanded focus on personalizing education. There are several pedagogical tools described in the literature, but they all have the same basic central theme, "making science relevant to each and every student". So please recognize the similarities when confronted with such movements as: problem-based learning, project-based learning, constructivist approaches, science-technology-society (STS), student-centered learning, inquiry-based learning, process-based learning, critical thinking development, brain-based learning, experiential education and so many others. Each of these educational movements recognizes that learning requires that students make connections to their lived lives. Not connections to YOUR life as the teacher, but to THEIR lives. It is this challenge that teachers face each and every day. And it is this understanding that can provide opportunities to teach all of science in a more exciting and relevant manner.

As this radiation education conference takes place, a draft position statement by the National Science Teachers Association (NSTA, 2004) reinforces these ideas.

Regarding the use of scientific inquiry as a teaching approach, NSTA recommends that science teachers

- * Plan an inquiry-based science program for their students by developing both short- and long-term goals that incorporate appropriate content knowledge.
- * Implement approaches to teaching science that begin with explorations and use those experiences to raise and answer questions about the natural world. The learning cycle approach is one of many effective strategies for bringing explorations and questioning into the classroom.
- * Guide and facilitate learning using inquiry by selecting teaching strategies that nurture and assess student's developing understandings and abilities.
- * Design and manage learning environments that provide students with the time, space, and resources needed for learning science through inquiry.
- * Receive adequate administrative support for the pursuit of science as inquiry in the classroom. Support can take the form of professional development on how to teach scientific inquiry, content, and the nature of science; the allocation of time to do scientific inquiry effectively; and the availability of necessary materials and equipment.
- * Experience science as inquiry as a part of their teacher preparation program. Preparation should include learning how to develop questioning strategies, writing lesson plans that promote abilities and understanding of scientific inquiry, and analyzing instructional materials to determine whether they promote scientific inquiry.

Regarding students' abilities to *do* scientific inquiry, NSTA recommends that teachers help students

- * Learn how to identify and ask appropriate questions that can be answered through scientific investigations.
- * Design and conduct investigations to collect the evidence needed to answer a variety of questions.
- * Become aware that there is no fixed method of approaching science inquiry, and that students can be creative in designing and conducting investigations and in analyzing data.
- * Use appropriate equipment and tools to interpret and analyze data.
- * Learn how to draw conclusions and think critically and logically to create explanations based on their evidence.
- * Communicate and defend their results to their peers and others.

Regarding students' *understanding* about scientific inquiry, NSTA recommends that teachers help students understand

- * That science involves asking questions about the world and then developing scientific investigations to answer their questions.
- * That there is no fixed sequence of steps that all scientific investigations follow. Different kinds of questions suggest different kinds of scientific investigations.
- * That scientific inquiry is central to the learning of science and reflects how science is done.
- * The importance of gathering empirical data using appropriate tools and instruments.
- * That the evidence they collect can change their perceptions about the world and increase their scientific knowledge.

- * The importance of being skeptical when they assess their own work and the work of others.
- * That the scientific community, in the end, seeks explanations that are empirically based and logically consistent.

Making the Transition

But how do teachers and their students move from the paradigm of “teacher as teller” to “teacher as facilitator”? What does our classroom activities look like when students become vested in their own learning?

Several years ago I posed this question to a group of teachers in Anchorage, Alaska. After spending considerable time examining the literature, they developed the following model for inquiry-based learning. They titled the model “an evolutionary process”, because they recognized that neither the teacher nor the students could move from the traditional roles to student-centered learning, without an evolutionary progression over time. I would like to share this evolving model in hopes that you might also help teachers see the connections to their present practice and in doing so, establish personal goals to move the teaching of science along what you will soon see as an inquiry teaching continuum.

Table 5: Inquiry as an Evolutionary Process

	Traditional Hands-on	Structured	Guided	Student Directed	Student Research
Topic	Teacher	Teacher	Teacher	Teacher	Teacher/Student
Question	Teacher	Teacher	Teacher	Teacher/Student	Student
Materials	Teacher	Teacher	Teacher	Student	Student
Procedures/Design	Teacher	Teacher	Teacher/Student	Student	Student
Results/Analysis	Teacher	Teacher/Student	Student	Student	Student
Conclusions	Teacher	Student	Student	Student	Student

It is important to know where we have been before we can clearly see a path to the next level of understanding. Therefore, let us examine a vision of each classroom teacher and student roles as we attempt to move from a traditional teacher-centered classroom toward a student directed environment.

Traditional Hands-on Science Experiences

We are all familiar with these “cookbook” experiences where the teacher directs the decision-making from topic to conclusion. In other words, when an activity or laboratory is included in the curriculum, the teacher decides the topic, the questions to be addressed, the materials that can be used, as well as the experiment’s design, expected results, and the correct conclusion. We also know that for some teachers this

step would be a major improvement over their 45-minute daily lecture, where students are not only not physically engaged, but probably not mentally attentive either. So traditional hands-on science is not bad science, it simply is not inquiry science.

Structured Science Experiences

During a structured laboratory experience, students are required to reach their own conclusions based on supportive evidence. On the inquiry continuum providing a structured experience is a major step for both the teacher and their students. I mention students, because we must not forget that our students must go through the same basic developmental process as teachers. The number one failure of educational reform has been the expectation that teachers and students will move from some present practice to some ideal, without moving slowly through several intermediate steps or phases. For many teachers and students, moving to a structured science experience will take considerable time and effort.

Guided Inquiry

Guided inquiry still has the teacher selecting the topic, the question, and providing the material, but students are required to design the investigation, analyze the results, and reach supportable conclusions. A recent teacher workshop suggested that both the teacher and the student be listed under the procedures and design section. They pointed out that many times we must fluctuate between teacher and student directed at these interface components. It is this level of involvement that is being suggested by the National Science standards. This does not suggest that every science experience must be at the guided level, but that each student must at some point have the opportunity to experience science as a process and not a set of facts.

Student Directed Inquiry

At this point the student is responsible for everything beyond the general topic and guidance with question development. The National Standards, which came out in 1996, do not specifically specify the level of inquiry requested or the roles of students or teachers. Personal experience with the Standard since 1996 has demonstrated just how difficult this evolutionary process is and how difficult it is to move students to self-directed learning. With the present climate in USA education, I believe that at most, 25% of our students should or could meet this level of inquiry.

Student Research

This is the inquiry ultimate goal. At this point the student simply needs support and guidance from the teacher. I do not believe that this is a goal to be met by all or even most of our students, but our teachers must understand how to help students who have both the interest, drive and ability to pursue true research. I must add that unless we alter our teacher preparation programs to include these kinds of experiences, we can never expect our future teachers to have the necessary skills to direct their students to become engaged in research.

Table 6 provides a model of what changes take place as well as move from one end of the educational spectrum to the other. Each of the changes stated represent huge paradigm shifts for the USA educational system.

Table 6: Inquiry Evolution: a Means to an End

Traditional Hands-on	Structured	Guided	Student Directed	Student Research
Teacher Controlled ----->				Student
Controlled				
Exogenous > _____	> Cognitive Development > _____		> Endogenous	
Focus on Teaching _____	> _____		> Focus on Learning	

This process of moving from traditional to at least guided inquiry creates several very exciting end results. It alters the role of the teacher, the intellectual development of the students and even the classroom-learning climate. The graph above shows how we can use inquiry to move toward more student centered classrooms and create a classroom where the focus is clearly on learning and not on the teacher teaching.

The cognitive growth may need a brief clarification. An exogenous cognitive change is externally driven, in this case by the teacher, and is measured by how well a student can reproduce what they have been told. An endogenous change, on the other hand, results in the internal reconstruction of new information and is measured by creativity and ones problem solving ability in new situations. All of these changes clearly align with many other aspects of our current educational reform efforts.

In many ways the last continuum shift may be the hardest of all. As educators we have spent a life time thinking about “what to teach” and “how to teach”. We simply assumed that the outcome would be student learning. But how would we function as teachers if every pedagogical decision we made was dominated by a focus on student learning? Putting the student first is so alien to most teachers, that this shift alone may be the biggest stumbling block to educational reform.

One example of how these current educational understandings are being employed can be seen in the Uranium and Radiation Education Outreach project that uses the following format for PBL curriculum development.

Problem-Based Learning Structure

This PBL format, described below, models the desired structure for addressing science related issues in the educators' classrooms.

1. **Connection:** The teacher, or a guest speaker, will present an introduction to the issues, to provide a personal connection to establish the importance of the problem(s) in the students' daily lives.
2. **Ideas:** By asking a series of questions, the teacher will lead discussion during which questions for investigation are formulated and plans of action are suggested.
3. **Facts:** Working as a group, students then supply all the facts that they know about the issues. The teacher will be careful to distinguish between facts and opinions.
4. **Learning Issues:** The group establishes questions that need additional research, elaboration, or definition. Some of this research may take the format of learning or lab activities, in addition to more traditional research techniques.

5. **Action Plan:** The group then makes plans for how it will find the information needed. Included in this plan is a list of resources that may assist in the investigations.
6. **Revisiting the Problem:** Once the independent work is completed, participants reassemble to report on their work.
7. **Product or Performance:** Each problem concludes with a product or performance by the group, or by subsets of the group. These may include plans for further action.
8. **Evaluation:** The participants evaluate their own performance, their group's performance, and the quality of the problem itself.

Jurisprudential model and real world experiences

When confronted with a science concept that has built-in opposing view-points, such as the development and use of nuclear energy, the Jurisprudential Inquiry Model (JIM) is perfect for the task (Bonnstetter & Pederson 1994). The JIM is designed to help students think systematically about a contemporary issue, to create an atmosphere of personal involvement and to allow different learning styles to emerge through role-playing. The only caution is to remember that JIM is only a tool, a means to an end, not the primary focus or purpose of the lesson. Many times students, teachers and parents need to be reminded what the goal of the lesson is. In the case of nuclear education, the lesson focus might be pros and cons of nuclear reactors for generating electricity. The process used to engage students could be JIM.

The jurisprudential inquiry model suggested here has six phases.

Phase I: Orientation to the Issue

Phase II: Identifying and Defining the Issue

Phase III: Synthesizing the Research Information into Arguments

Phase IV: The Public Meeting

Phase V: Clarification and Consensus

Phase VI: Application

Each of these phases is described in detail by downloading the pdf article found at:

<http://nerds.unl.edu/pages/preser/sec/articles/juris.pdf>

Radiation misconceptions held by both students and their teachers

It is a common misconception that exposure to radiation of any kind is a possible cause of cancer. The resulting fear factor that comes from this belief is in itself the major misconception concern. What is needed is greater understanding of both radiation and related risks.

While it is true in cases of populations exposed to high levels of ionizing radiation, such as the Japanese atomic bomb survivors; it actually depends on the amount of radiation exposure. A search of the literature yields numerous examples of opposing views and contradictions concerning exposure to radiation. In other words, education is the missing link to many of the issues central to radiation. Let us examine one topic that could be used in an educational setting to help students both better understand radiation and a related personal issue. By applying the Jurisprudential Model, one can see how students could find information on both sides of several related issues, including the use of sun tanning booths, the cultural norms associating a tanned body and health, the reduction of the earth's ozone layer, and cancer increases.

Case Study: Effects of UV Radiation on You

UV radiation was chosen as a teachable example for a number of reasons. First of all, the risks from UV can be greatly reduced by education and personal action. Secondly, 80% of damaging sun exposure occurs during the first 18 years of a young persons life Ahearn, M. (2002). Therefore, it is crucial that our youth understand both the science and the personal risks associated with UV radiation.

Skin cancer is the most common form of cancer in the United States. In addition, it is increasing faster than any other form of cancer. One in five Americans will develop skin cancer during their lifetime (Rigel, 2004). This number is even higher in the “Sunbelt”. The USA Sunbelt includes 15 States and is defined as those areas below 37° Latitude. (See Table 7.) According to International Cancer News (1988), thirty percent of those presently living in the sunbelt will develop skin cancer during their lives.



Table 7

Below the dark line under the word “States” represents 37 degrees North Latitude.

Although data for Japan has not been found, one can assume from Table 8 that a similar risk is faced by a large portion of the Japanese population.

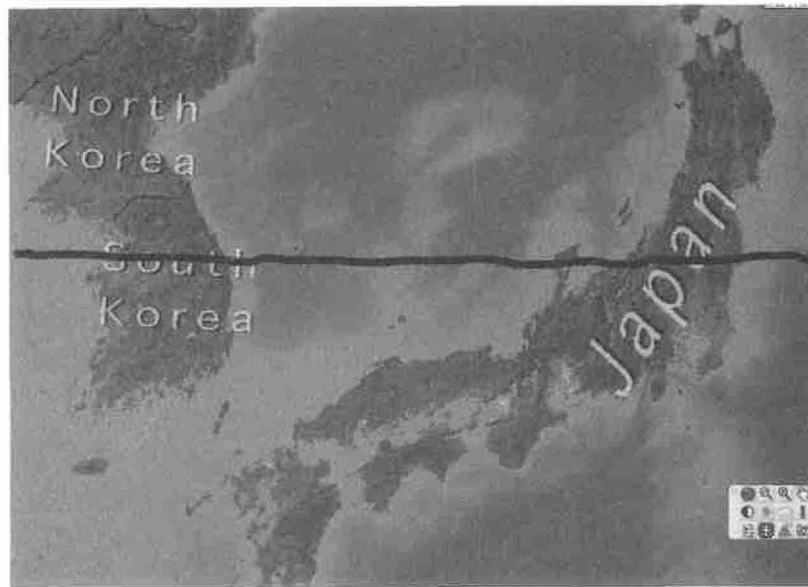
A teachable moment

Educators should recognize the potential this topic represents. It represents an important science concept and it has personal interest appeal for students.

Applying the Jurisprudential model, students might first identify both positive and negative aspects of the issue.

Positive Effects

Ultraviolet rays have their place in our ecosystem, (and it isn't merely to provide manufacturers an opportunity to sell their sunscreens). UV rays, for example, are necessary for our body to produce vitamin D, a substance that helps strengthen bones and safeguards against diseases such as Rickets. Some scientists have shown that Vitamin D lowers the risk of getting some kinds of internal cancer, like colon cancer.

**Table 8**

Below the dark 37 degrees North line represents Japan's "sunbelt".

UV light is also used as a therapy for psoriasis, a condition in which the skin sheds its cells too quickly, resulting in itchy, scaly patches on various parts of the body. When exposed to ultraviolet rays, the growth of the skin cells is slowed, relieving the symptoms.

UV rays are also used in various commercial functions, such as disinfecting fish tanks and sterilizing medical equipment. Animal life makes their own use of these wavelengths too—certain animals can actually see ultraviolet light, and use it to their advantage. Bees use the reflection of UV off of flower petals to guide their pollen collecting.

Negative Effects

Though ultraviolet rays do have a purpose, one must not use this information as a validation for sunbathing habits. The dangers of UV exposure are real, and public ignorance concerning these matters could lead to increased health problems in the future.

The intended end result of such an activity would be to have students: understand the science behind skin cancer, define the unavoidable and avoidable UV risks, and ultimately, make life decisions that align with this new found knowledge.

Conclusion

My greatest fear is that we are preparing our students for a present that no longer exist and future that is unknown. The only solution is to prepare our students with the ability to be life long learners. Our educational goals must move beyond current understandings and prepare our students to learn each and every day of their life. We should admit that what we offer is a path to a learners permit, not a diploma. We must provide them with the tools to continue learning and questioning.

Therefore, students not only need current information related to these topics, but they need opportunities to debate and confront the issues surrounding radiation and nuclear energy. Only then will they understand the science behind these issues and learn the process of data gathering and analysis for crucial life long learning. There are hundreds of present and future scientific and technological decisions facing humanity. Armed with present knowledge and the tools to develop future understandings, I am confident that our future will be bright and healthy.

References

Ahearn, M. (2002) Sun Awareness For Educating today's Youth (Project SAFETY). The University of Texas MD Anderson Cancer Center, Houston, TX.

American Association for the Advancement of Science (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.

Bonnstetter, R. J. (1998, December). Inquiry: Learning from the past with an eye on the future. Guest Editorial in *The Electronic Journal of Science Education*, 3(1). [Note: this marks the first article published in this journal to embed a quick-time movie as a sample of the idea being presented. Prior to this, authors simply used this journal as a electronic piece of paper.] <http://unr.edu/homepage/jcannon/ejse/bonnstetter.html>

Bonnstetter, R. J., & Pedersen, J. (1993, March). *The Jurisprudential Inquiry Model for STS*. Washington, DC: National Science Teachers Association. Downloadable at: [http://plato.acadiau.ca/courses/educ/GMacKinnon/Educ4143/graphics/Juris.%20Inquiry%20Model%20for%20STS%20\(chapter%209\).html](http://plato.acadiau.ca/courses/educ/GMacKinnon/Educ4143/graphics/Juris.%20Inquiry%20Model%20for%20STS%20(chapter%209).html)

Delisle, Robert, (1997) *How to Use Problem-Based Learning in the Classroom*. Association of Supervision; ISBN: 0871202913.

National Research Council (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.

National Research Council (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.

NSTA, 2004. NSTA Draft Position Statement on Scientific Inquiry, National Science Teachers Association, Washington, DC.
(<http://www.nsta.org/main/forum/showthread.php?t=1175>)

Rigel, D., Friedman, L., Dzubow, D. Reintgen, R. (2004). *Cancer of the Skin*. Elsevier Science Health Science division. Philadelphia, PA. ISBN: 0721605443

Sample Sources for Radiation concerns

- Carnes, O., Grahn, D., Hoel, D., 2003, mortality of atomic bomb survivors predicted from laboratory animals: radiation research society, v. 160 p. 157-167.
- Gebbie, K.M. and Paris, R.D. (1986). *Chernobyl: Oregon's response*. radiation control section, office of environment and health systems, health division, Oregon Department of Human Resources, Portland, Oregon.
- Koshurnikova, N., Gilbert, S., Sokolnikov, V., Miller, D., Preston, S., Romanov, N., Suslova, V., Vostrotin, bone cancers in mayak workers: radiation Research Society, v. 154, p. 237-245.
- Martiniussen, Erik, 2001, sellafeld reprocessing plant in great britain: The Bellona Foundation, no. 05:2001.
- Michell, C., Folkard, M., Joiner, M., 2002, effects of exposure to low-dose-rate ⁶⁰Co gamma rays on human tumor cells in vitro: radiation research society, v. 158, p. 311-318.
- Morris, S., 2000, chromosome analysis of workers occupationally exposed to radiation at the sellafeld nuclear facility: International Radiation Biology, v. 76, p. 355-356.
- Parker, L., 1997, the excess of childhood leukemia near Sellafield: a commentary on the fourth COMPARE report: Journal of Radiological Protection, v. 17, p. 63-71.
- Preston, D., Shimizo, Y., Pierce, D., Suyama, A., Mabuchi, K., 2003, Studies of Mortality of Atomic Bomb Survivors. report 13: solid cancer and none cancer disease mortality: 1950-1997: Radiation Research Society, v. 160, p. 381-40.
- Shilnikova, D., Preston, A., Ron, E., Gilbert, S., Vassilenko, K., Romanou, A., Kuznetsova, S., Sokolnikov, M., Okatenk, A., Kreslov, V., Koshurnikova, N., 2003, cancer mortality risk among workers at the mayak nuclear complex: Radiation Research Society, v. 150, p. 787-798
- Sternglass, Ernest, 1981, the secret fallout: low-level radiation from hiroshima to three mile island: McGraw-Hill Book Company
- Stezhko, Valentin A., 2004, A Cohort Study of Thyroid Cancer and Other Thyroid diseases after the chornobyl accident: Objectives, design and methods: radiation research society, v. 161, p. 481-492.
- <http://www.medicineau.net.au/clinical/palliative/strontium.html>
- <http://www.epa.gov/radiation/radionuclides/strontium.htm>
- <http://www.bnfl.com/>

<http://www.un.org/ha/chernobyl/history.html>

[http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/manual/appendices/units.
htm](http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/manual/appendices/units.htm)

[http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/manual/appendices/units.
htm](http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/manual/appendices/units.htm)

[http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/manual/appendices/units.
htm](http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/manual/appendices/units.htm)

5.2 Nucleonics across the Curriculum

Rich Marrano

Crystal Lake South High School

1200 S. Mchenry, Crystal Lake, Illinois, 60014 USA

Abstract

Many within the “nuclear” community are interested in attracting young people to careers in nuclear related fields while they are at the age when they are considering career choices. High school is a good time to introduce students to ideas that may lead them to investigate careers in nuclear science. However, they may not even be exposed to those ideas for various reasons. For example, many teachers may not see the connection between nuclear issues and other areas of instruction. In addition, most teachers already have a full curriculum, and adding another topic is unlikely. As a result many students will not see some of the practical applications of nuclear science in other fields of study unless they take a class where nuclear science is a specified topic of study. A good alternative is to incorporate nuclear examples across the curriculum to illustrate concepts already included in other classes. This would be a simple step that teachers may find interesting and would expose a variety of students to nuclear issues.

Background

Many people within the nuclear community are concerned about the growing gap between the number of vacancies within the nuclear related professions and the number of new applicants for those vacancies. Many attempts to attract young people to nuclear fields often target college students who have already been exposed to some nuclear related issues while majoring in disciplines closely related to nuclear medicine or nuclear power. This is beneficial for those involved both as employers and employees. However, it fails to attract the number of individuals needed in both nuclear medicine and nuclear power if both fields continue to grow as projected. As a result of this shortage, many within those fields would like to see more students exposed to nuclear careers and concepts while in high school in order to increase the number of students pursuing the necessary majors while undergraduates. Some have suggested that a Nuclear Science class at the high school level would be a good way to accomplish that goal. After teaching such a course at the high school level for 24 years I have observed that many students are interested in nuclear topics and do express the desire to pursue various nuclear careers after high school as a result of the information received while in such a class. It would be profitable for more high schools to offer nuclear science classes or at least units about nuclear radiation in chemistry or physics courses. However, both options are unlikely for several

reasons. First, many teachers do not feel qualified to teach such a course or even such a unit within another course. Also, many teachers have already had to deal with content being added to their curriculum and find it difficult to cover the required curriculum in the allotted time. Further, with the push for accountability for state and national standards comes the reticence to try anything new beyond what is already expected and evaluated.

An alternative to adding a separate course or as units within another course would be to incorporate nuclear examples to illustrate concepts already included in other classes offered at the high school level. Nuclear issues used across the curriculum such as those presented in this paper would help accomplish a number of goals that have already been outlined in a variety of state and national educational standards. It would also assist the general public by allowing them to become more familiar with nuclear concepts that could reduce some of the blind fears that many people experience about anything related to nuclear radiation.

Following are some examples that could be incorporated into various classes along with the concepts they could be used to illustrate.

Math

Concept: Graphing in three dimensions using x, y, and z coordinates

Example: Locating tumors and surgical instruments in 3 planes on various medical images.

Explanation: In order to use radiation on patients with cancerous tumors it is necessary to determine the exact shape and location of the tumor so a beam of radiation can target only the tumor without exposing the good tissue surrounding the tumor to excessive doses of radiation that could lead to other problems. This could be accomplished using a CT series of images so that the 3-dimensional location and shape of the tumor is determined.

Earth Science

Concept: Base line mapmaking using triangulation from fixed points of reference.

Example: Stereotactic brain surgery dose planning to target a brain tumor for gamma knife surgery using CT images with the mounting frame in the image.

Explanation: In order to orientate the patient with a brain tumor correctly in a gamma knife apparatus the tumor must be located relative to the frame that is attached to both the patient's head and the gamma knife apparatus. The frame is like the base line used in map making. A CT scan is done of the patient after the frame has been attached to the patient's head. The tumor's location can then be determined relative to the frame (base line) by triangulation.

Earth science

Concept: Understanding the interior of the earth from P and S wave data

Example: Various internal image techniques used on a the patient to get a visual image of the interior of the patient's body without actually doing surgery to "look" inside the patient

Explanation: Most students are familiar with X-rays and realize that they are used to "see" inside the body. There are basically three parts to the system that produce an x-ray. The first part is a source of energy waves like x-rays. The second part is something that either absorbs or interferes with those x-rays, like the patients various body tissue such as bone, soft tissue, fluids or contrast agents. The third part is something that records where the x-rays have passed through, like the film. In the case of the interior of the earth, the P and S waves from an earthquake are the energy waves, like the x-rays. The Lithosphere, Asthenosphere, and core of the Earth either absorbs or interferes with those energy waves, like the person's body being x-rayed. The seismographs around the world act as a receiver and recorders of the energy that passes through the Earth, like the x-ray film.

Economics and Business

Concept: Cost effectiveness and the principle of diminishing rate of return

Example: Inverse Square Law as it relates to reduction of radiation exposure and also reduction of cost effectiveness when using distance to reduce exposure from radiation sources.

Explanation: As one moves further and further from a radiation source, the amount of energy received is reduced, but not at a uniform and constant rate of reduction. The amount of radiation received at any distance can be determined if the amount of radiation at a reference distance is know along with how any new distance compares to the reference distance. Simply put, when the distance between a source and a receiver doubles, the amount of radiation received at twice the original distance will be reduced by seventy five percent of what it was at the original distance. If the distance between a source and a receiver is tripled, the amount of radiation received will only be reduced by an additional fourteen percent. Moving the receiver still further to four times the original distance between the source and the receiver would yield a reduction of the amount of energy received by only an additional five percent. If each increase in distance between the source and the receiver costs the same amount of money, the return on that investment is, therefore, steadily decreasing.

Environmental Science

Concept: Risk/benefit analysis

Example: Various energy sources (coal vs. nuclear)

Explanation: This is a useful comparison between the two major sources of heat for steam generators. Comparison should be done for all aspects of what it takes to obtain the raw source from the ground through the disposal of any waste produced when each source is used.

Biology

Concept: Fossil reconstruction and brain case analysis

Example: Using CT to examine NanoTyranus skull

Explanation: While investigating a skull that was completely encased in a rock matrix, a CT scan was used to produce a three-dimensional image of the actual skull without the rock matrix. This was possible because of how the material that replaced the skull interacted with the x-rays differently than the material that filled the skull. Due to that difference it was possible to actually “remove” that material from the image without having to do that work on the actual fossil mass.

Statistics

Concept: Error Bars and Range of Error

Example: Targeting of Tumors with error bars that may encompass critical structures that should not receive radiation.

Explanation: When targeting cancerous tumors with radiation it is important to not expose other non-cancerous material to doses of radiation that may be harmful. If the range of error is incorporated on three dimensional graphs depicting the tumor, other sensitive tissue, and the proposed path of the radiation beam along with its range of error, it is possible to determine if the beam may expose some other sensitive tissue to damaging doses of radiation.

Food Science

Concept: E-coli and sanitation of food preparation equipment

Example: Use of radiation to eliminate threat of food contamination by bacteria

Explanation: While food sterilization with radiation has been used in various ways world wide, it has been slow to become widely accepted. This is partially due to the stigma of radiation and also to the erroneous belief that anything that is exposed to radiation becomes radioactive. As a result, many people are still unnecessarily exposed to food contaminants that could have been rendered harmless had the food they consumed been sterilized using radiation.

While this list of examples above is not meant to be exhaustive, it is presented as a starting point to include nuclear concepts in a much broader portion of the general high school curriculum. For further discussion or suggestions, please contact the author at the address below.

Rich Marrano - contact at rmarrano@d155.org

About the Author:

The author has taught a course about nuclear energy at the high school level for 24 years at Crystal Lake South High School in Crystal Lake Illinois, USA. He also assisted in rewriting the text/labs used in the course. In addition he has developed a unit about nuclear medicine within the course using information gathered from various medical facilities. He has also assisted the Radiological Society Of North America with a program

to attract high school students to careers in nuclear medicine by presenting sessions for students at the annual RSNA convention in Chicago, Illinois. These sessions introduce the students to the basics of nuclear radiation in medicine and allow them to see some of the latest medical technologies on display at the convention. The author has also visited various nuclear facilities and has participated in workshops and professional meetings within the nuclear community in order to gain a fuller understanding of the practical applications of nuclear science.

5.3 Present Status and Future Plans of Web Site “NUCPAL” For School Education in the Field of Nuclear Radiation and Energy

NUCPALの現状と将来計画

Kenji SUMITA

住 田 健 二

Emeritus Professor of Osaka University

大阪大学名誉教授

Vice President of Japan Atomic Energy Relations Organization (JAERO)

(財) 日本原子力文化振興財団

「ニュークパル」というあまり聞き慣れない造語は、ニュークレアー(Nuclear)とパル(Pal)を合成した言葉で、教育の場における放射線や原子核の情報を共有する仲間との意味しており、インターネット上の放射線・原子力関連日本語ウェブ・サイトの一つとして活躍中である。このウェブ・サイトは2002年度から文部科学省の予算的な支持を受けて開設され、関連各分野から選ばれた委員によって構成されている運営委員会(委員長は発表者)の指導のもとに、日本原子力文化振興財団が管理運営している。

このウェブ・サイト設置の目的は、日本では義務教育である小、中学校、および国民の大部分が就学する高等学校における学校教育での、エネルギー・環境教育における放射線、原子力関連の教育授業に必要な情報や知識を電子教材として提供する事にあり、実験装置の制約や現実の装置や施設の見学に困難が多いこの分野での教育の推進への貴重な支えとなっている。また公募に応じて参加・提供される模範的な授業の実践事例の紹介も既に開始されており、多数の応募者が得られ、その中の優秀なものが公表され始めている。

また、こうした基礎的な教育的資料が整備されて提供されるのみならず、このウェブ・サイトから、政府の行政機関、研究機関や大学、各種関連学会、産業界の諸組織までのホームページ等が容易にリンクでき、その時点での最新情報を広く検索できる点にも特徴がある。従って、学校教育の現場で、教師がこれを直接的に出席者に投影表示しつつ、次々と各種の質問に対応したり話題を変えて行くことも容易に出来る。

さらに、学校教育での全般的なIT教育の進展に対応して2003年度からは児童生徒のページが開設された。たとえば「電気のはじまりをさがす旅」と名付けられた項目を呼び出すと、各自の家庭の電気器具から配電端子を通じて遡り、発電所までをたどり着く

ゲームが可能になっており、原子力を含む各種の発電方式を知ることが出来る仕組みになっている。勿論、学校からのみではなく、自宅からもこのゲームに参加できる。さらには、夏休みの宿題に悩まされるであろう子供達へのサービスとして、課外授業コーナーがあり、ここを訪問すると夏休み宿題へのヒントが発見出来る仕組みにもなっている。

今後の方向付けとしては、利用者である教師や生徒・児童の参加を得つつ双方向型の情報交換が可能な運営としたいのであるが、これには具体的な開設準備段階に入る前に十分な検討が必要で、その時期を明示出来ないのが残念である。

なお本財団ではNUCPALの維持のみならず、放射線、原子力関連の学校教育援助事業としては、次のような活動を行っている。

1. 放射線、エネルギー、環境関連の授業へ講師派遣。
2. ビデオテープ・DVD化教材の簡易貸出し。
3. 最新情報によって編纂された教材（パンフレット等の提供）。
4. 関連授業例の提供。

This unfamiliar word, “NUCPAL” is new coined word, which is combined 「NUCLEAR」 and 「PAL」, means the fellows who have common information source for School Education in the field of Nuclear Radiation and Energy. This is very actively serving Japanese Web-Site for internet systems since 2002 .

Under the sponsorship of Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology the editorial and maintaining service of JAERO is supervised by the steering committee consisted of 9 experts from the related several field and also get more practical support of their sub- committee for editorial job and for teaching guidance in classroom.

The main subject of this web site is to supply basic knowledge and information as IT materials for education about energy and environment in essential education, i.e., in elementary school, in junior high school and in high school. Former two are obligated to all Japanese children and the last is also accepted by peoples by higher than 95%.

The performance of teaching in the classroom for radiation and nuclear energy has particular difficulties in handling on experimental instruments and in visiting real facilities. Therefore such IT way supports are very useful to promote the education in those field.

We openly collect practical cases for class and the distinguished model examples selected among a lot of applicants are distributed through web site connection services. In addition to supplying the educational basic information, the current news in very wide range are available by the easy link service. The connections are included with governmental organization activities in both administration and research & development, also the activities of the universities and academic societies, of various

association and even industrial activities. Teachers may give very quick responses to questions from attendants in classroom by showing referred material by electronic projector through link service.

Following the general tendency of introducing IT tool in educational field, the kids corner have opened since 2003. For example, student call the term of " Trip to Seek where electricity comes from, " the sequential game starts from the home electric tool to arrive the power line through terminal spots, and after several steps finally arrive the generator.

Such original power sources of electric supply may be alternative in several way, Hydrodynamic, Oil Burning, Nuclear Energy and Solar Battery, etc. Of course, they may join the game not only from their class and also from their home by own internet address. To assist the kids having homework in summer vacation, extra class room may serve to present the hints to such annoying jobs.

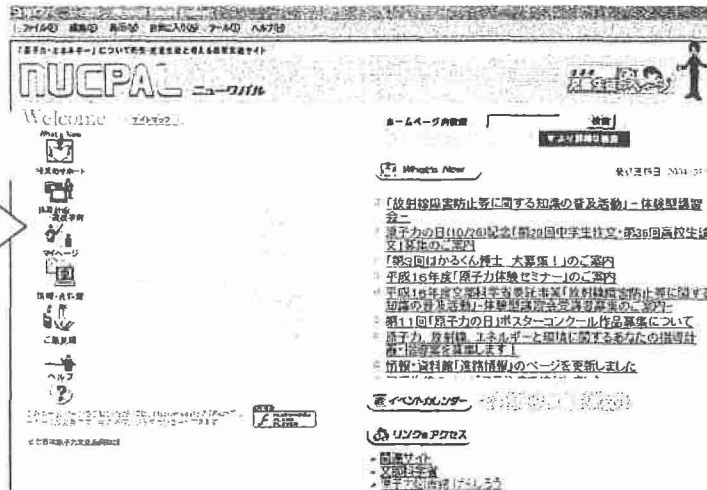
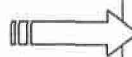
In the future, JAERO hopes to promote the information exchange with teachers and students as utilities by bilateral way. However it needs a lot of preparation and consideration on management, and may ask both sides of distinguished enforcement of human power and of working times before the starting. At present situation, we regret not to be able to announce the starting date.

JAERO has very wide supporting activities in the school education in the field of nuclear radiation and energy. In addition to NUCPL service, the following activities are performed actively.

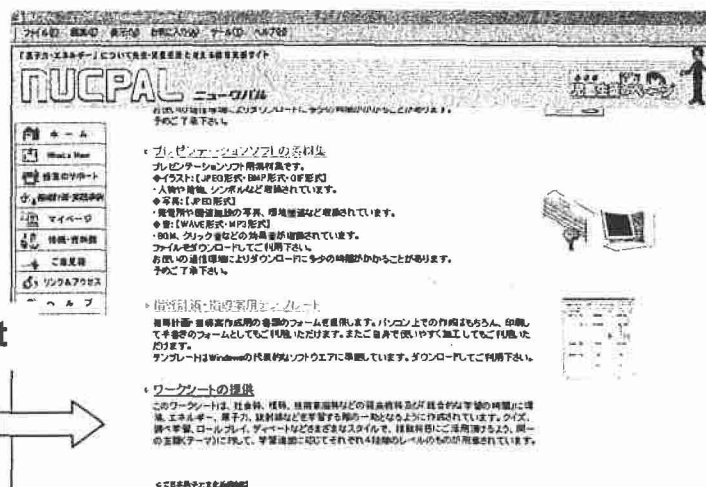
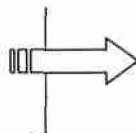
1. Arrangement of lecturers for school education on energy, radiation, and environment.
2. Free charge releasing of Video Tape and DVD for education.
3. Issuing the text based on latest information (free charge pamphlets)
4. Introducing of typical example of practical cases for class.

Supply of Worksheet on NUCPAL

Click my page

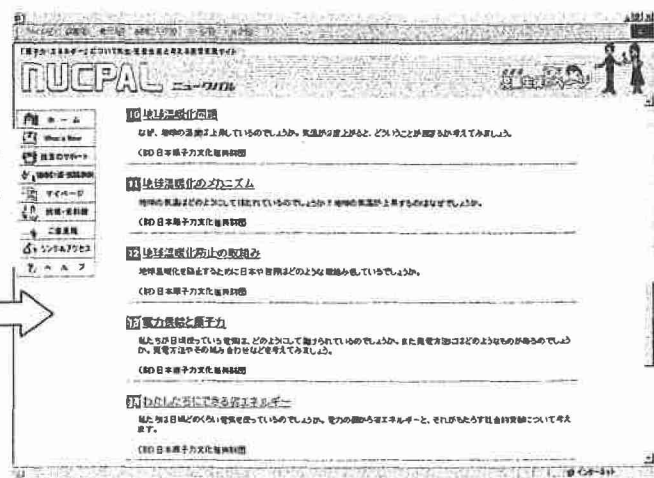
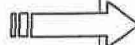


Click worksheet

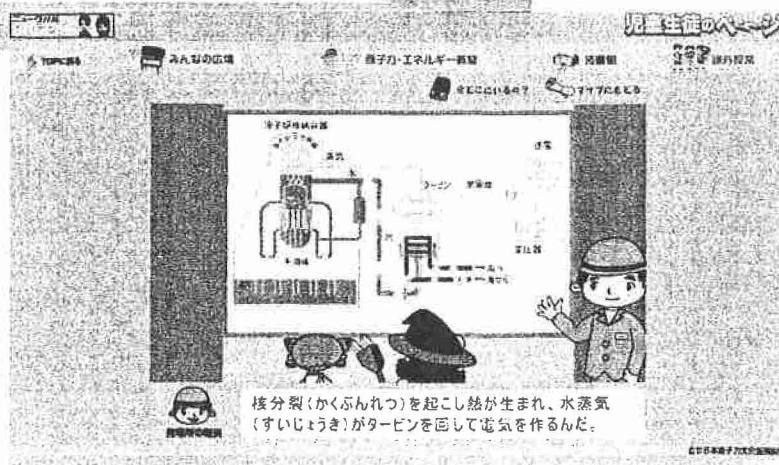
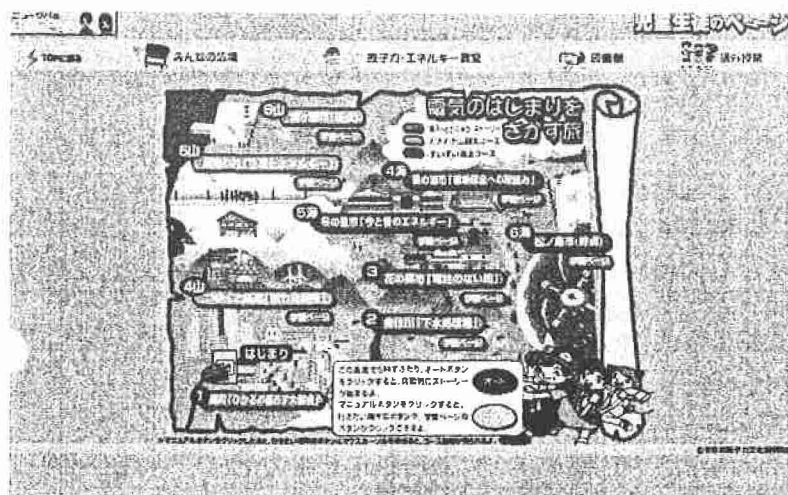


Click a content of
supply and
power

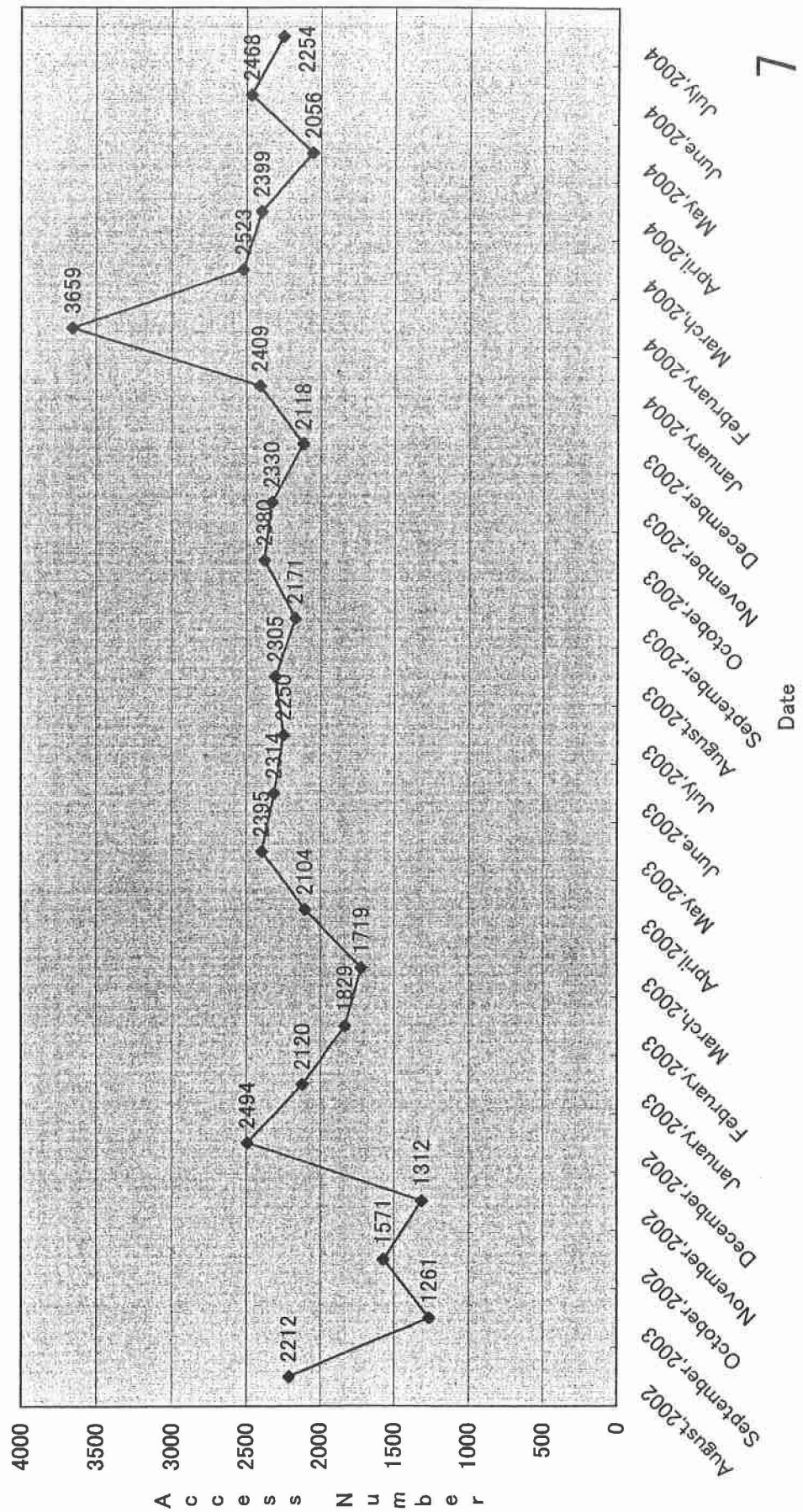
“power
nuclear



“Trip to Seek Where Electricity Comes From” The children can be learned where is electricity generated, and is sent to a home with playing game



Shift of Access Number per month for toppage on Nucpal
August,2002 to July,2004



5.4 Awareness and Attitude Survey of Filipino Teachers And Students in the Secondary School Toward Nuclear Energy and its Related Issues

Judeza S. PUSE, Takaaki AWATA and Kozo ATOBE

Department of Physics, Naruto University of Education
748 Nakajima Takashima Naruto-cho Naruto Tokushima 772-8502, Japan

The Philippines which is a member of Asia the Pacific Economic Cooperation (APEC), reflects the educational needs in its newly implemented Basic Education Curriculum of 2002, that is to develop a strong skills foundation in literacy and numeracy especially in line with science and technology which is also the call of the civilized society to elevate science and radiation literacy throughout the world. Research identified that there is a need to upgrade and implement effectively nuclear science in the Philippines especially in the high school level. To address this problem, the researcher decided to undergo this study in order to welcome the development that should be made that is relying on the power of education where the dissemination of nuclear knowledge should be taught with wisdom and unbiased mass media without hesitation and delay. The findings of the study have been presented as regard the awareness and trend of attitude of teachers and students towards nuclear energy in general and its related issues in particular in Philippines, Region-V, Division of Camarines Norte from the perspective of promoting nuclear science and teacher competence. Objectives, significance, methodology, results and discussion, conclusions and recommendations are then presented.

1. INTRODUCTION:

The Philippines is one country that has attempted to venture into using nuclear energy for electric power generation. Its government has created various instrumentalities for the development of nuclear energy in the country. These include the Philippine Atomic Energy Commission (PAEC) that is known as the Philippine Nuclear Research Institute (PNRI) and more recently the National Power Steering Committee (NPSC). The Philippines has even put its own nuclear power plant located in its province of Bataan, however, because of some technical considerations and political factors including the strong public opinion against using nuclear energy and operating the nuclear power plant which resulted from nuclear accidents abroad such as the Three Mile Island Incident of 1979 and the Chernobyl Accident of 1986, the country was never able to harness the potential of nuclear energy for electric generation. Due to the tremendous electric power outages the country experienced in the late 1980's and early 1990's which resulted from the lack of new power plants to supply the needed electricity, the government, in particular the Ramos Administration has once again renewed the government's interest to reconsider once more the use of nuclear energy in the country to support the Philippines's effort to industrialize by creating the (NPSC) that was tasked to examine once more the viability of using nuclear energy [1].

It has been the notion that nuclear technology holds great promise for achieving education. It also is a major factor in boosting productivity in the classroom. However, for such to happen, public education must have the support of the academic community. The schools cannot expect quality education to happen in a vacuum, but it requires a more meaningful use of nuclear technology that must be tied up with the refined programs to serve the need of the school and the clients.

1.1 Background of the Study

In the last 15 years, the importance of teachers and students awareness and understanding of science based nuclear energy and some issues has become realized for many years that the growth of teachers and students knowledge and understanding science is closely tied up to the personal

experiences that they have. Their reactions to the importance of nuclear energy may also be related to their world view depending upon the kind of environment in which they grow up [2]. According to Cobern (1983) [3], science educators must first try to understand the world as students understand it if they are to be successful at instructing all students in science.

There are three major sources and levels of obtaining radiation or nuclear education in the Philippines; the secondary schools, colleges and universities and training courses in nuclear science and radiation protection offered by government agencies such as the (PNRI) of the Department of Science and Technology (DOST) which is the Regulatory Authority for all matters concerning nuclear energy, regulating radioactive materials and related applications of ionizing radiation and the Radiation Health Service (RHS) of the Department of Health which is responsible for regulating x-ray facilities and radiation which is generated electronically, including non-ionizing radiation [4].

The main problem of radiation education in the secondary level is that many high school teachers omit teaching radiation and nuclear topics since they are found in the last chapter of the textbook and taken up towards the end of the school year [4]. Now, that the Philippine Educational System has been changed from the restructuring of the 1983 High School Curriculum to 2002 Basic Education Curriculum (BEC), these topics were shifted into the first chapter of the curriculum guide for teachers [5]. A lot of teachers confessed that they fail to discuss these topics with their students and oftentimes it boils down to lack of training of educators in the field of nuclear science and technology [6]. In addition, vast majority of science teachers do not have the necessary qualifications, competence and training to teach these topics. In general, the situation in the Philippines is that only around 20% or even less, depending on the field of science, of high school science teachers are qualified to teach these subjects. Teachers who are actually teaching Physics are not Physics majors [4].

1.2 Objectives of the Study

Given the foregoing scenario, the following objectives are then formulated;

- a. Determine the awareness of Filipino teachers and students about nuclear energy and its related issues.
- b. Investigate the trend in respondents' attitude towards nuclear energy and its related issues.
- c. Investigate the relationship between the gender of the respondents and their level of support as to the future of the nuclear power plant.
- d. Give Filipino educators a gauge for measuring what might be included in the future curriculum to enhance teachers' competence and upgrade nuclear science in the secondary level.

1.3 Significance of the Study

The results of this study will serve as a starting point to clear out the negative perception about anything associated with the word "nuclear" or "radiation" which was previously caused by the potential catastrophe that could result from nuclear technology as has been demonstrated by the devastating effects of nuclear radiation resulting from the explosion of nuclear bombs in Hiroshima and Nagasaki in 1945. Ultimately, the findings will give light and information to the following people;

- a. Parents-** The fact that more parents have deflected view about nuclear energy and most afraid of radiation could hardly guide and assist their children in educational development. Thus, the inclusion of community linkages in the curriculum and the findings of this study may help them reassess their perceptions and attitude towards nuclear energy.
- b. Students-** As they are made aware of the importance of the research, the results of this study may give them a sense of justice that learning the 3 R's is not sufficient but thinking scientifically to understand nuclear phenomena is more meaningful and worth telling.

c. Teachers- The findings of this study can help them revise, enrich, modify and teach the content with wisdom to effect improve students attitude and facilitate the acquisition of nuclear knowledge and development of skills for them to feel the importance of nuclear science in their daily life.

d. School Administrators- Being aware of the positive results of this study, administrators can gain an insight as to the kind of program that will promote open line communication with the public permitting a free flow of information about nuclear science and encourage them to take an active involvement in their decision making process.

e. Curriculum Planners- Science education would be considered as a vital recognition route for the word nuclear energy and spelling out plans for reforms intended for teacher education component. The findings may bring hope and inspiration for them since watching the curriculum will develop courses of action which will be applicable to the areas they are serving thus, elevating the present status of nuclear science education in the secondary level.

f. Future Researchers- This study would serve as a reference to other researchers to undergo Meta-Analysis where ideas must emanate out of the actual needs borne out of the previous research results and on the basis of these ideas, experimenting, packaging and marketing of results will be made possible to strengthen research development.

2. METHODOLOGY

2.1 Questionnaire Design

Conceptual models of the study were made to arrive at the determination of the questionnaire design. It consisted of three divisions, the Socio-Demographics, Awareness and Attitude Constructs. Questions under these sections were then formulated to attain the objectives of the study. Some revisions were made to questions to achieve greater clarity. In total, respondents were asked 15 questions as regard the topics.

2.2 Sources of Data

As reflected in table 1, the study made use of 65 teachers (science and non-science majors) teaching at Jose Panganiban National High School, Camarines Norte National High School and D.Q. Liwag High School respectively. There were 243 student respondents (first year to fourth year) enrolled during the school year 2003-2004. A total of 308 respondents were the sources of data comprised in this study.

Table 1

Respondents that comprised the study

Name of School	Teachers	Students	Total
Jose Panganiban National High School	25	83	108
Camarines Norte National High School	20	80	100
D.Q. Liwag High School	20	80	100
Total	65	243	308

2.3 Survey Analysis

At the completion of the survey administration, all the data were input into Statistical Package for Social Sciences (SPSS) data file. A series of computer checks were made to ensure that the data were consistent and suitable for statistical analysis. Questions were cleaned, coded, and summarized as appropriate as possible. The frequency distribution results of all questions were computed including the use of Cross tabulation. The reliability of the questionnaire and mean awareness scores of the respondents were calculated as well. Refining of the coded data was made to arrive at certain assumptions and testing of hypotheses using Chi-square of independence as statistical tool employed

3. RESULTS AND DISCUSSION

This section contains the graphical and tabular presentations, analysis and interpretation of data based on the data gathered and simple statistical results.

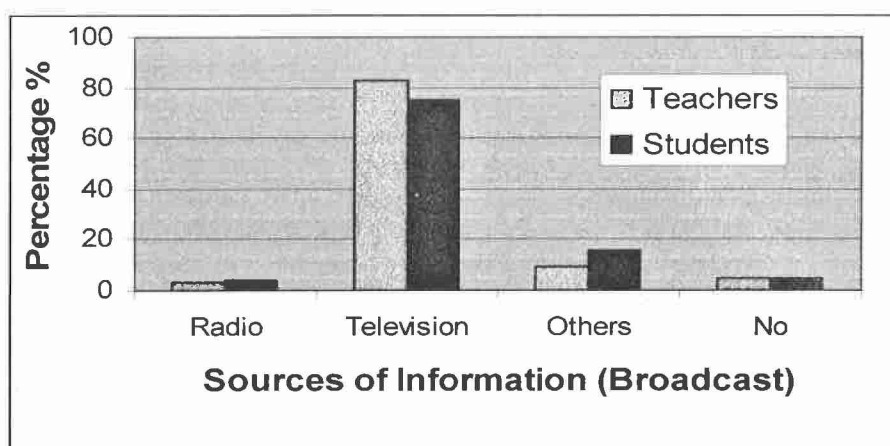


Fig.1: Comparative analysis between teachers' and students' data for question: "From what source have you heard nuclear energy and its related issues?"

It can be noted in Fig.1 that television was the first choice of both respondents in hearing information about nuclear energy and its related issues with a large margin equal to 83% and 75% respectively. Teacher respondents have chosen among "Others" which comprised of Interpersonal Communication, Videos and Seminar by 9% and the same choice was made by students as 16% comprising of Interpersonal Communication, Conference and Lessons from science teachers. For never heard teacher and student respondents 5% were depicted. Radio ranked the last among the sources for both respondents. Similar phenomena were shown by both respondents for choosing Television as a source of broadcast that might be accounted for the existence of educational and regularly broadcast TV program like "Sineskwela" for science intended for elementary and high school students where it coincides with school hours so as for teachers and principals to prepare class schedule that matches the airing schedule [7], special channels like Discovery and People's channel (Channel 13) associated with science links and science activity like live holding of (DOST) Technology Fair which coincides with the National Technology Month Celebration once a year provides the public with the necessary information on nuclear developments [8]. Added into it the highlighting of Atomic Energy Week to make radiation known to many Filipinos giving rise to food irradiation [9].

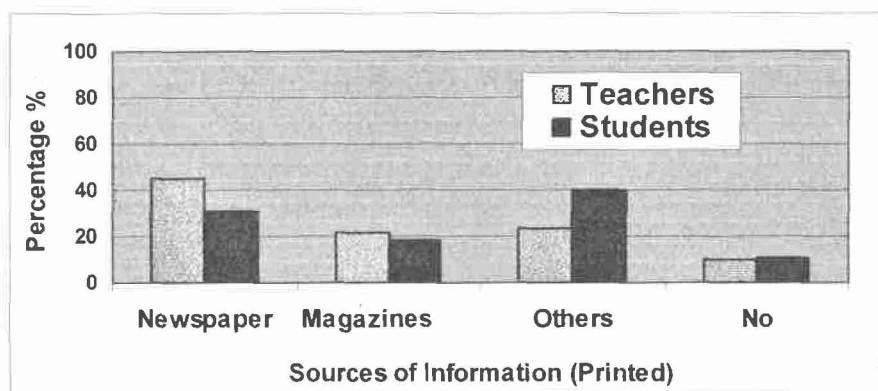


Fig.2: Comparative analysis between teachers' and students' data as to the question: "From what source have you read nuclear energy and its related issues?"

It can be gleaned from Fig.2 that using printed materials as sources of reading information about nuclear energy and its related issues, Newspaper ranked the first among other categories by 45% for teachers. Student respondents preferred "Others" like Primer, Brochures, Textbooks, Encyclopedia and Internet by 40% as their prime considerations and the same category was chosen by teacher respondents by 23%. Thirty one (31%) of the students rated Newspaper as their second priority. Both respondents selected Magazines, the third priorities among the given categories by 22% and 18% respectively. A difference of 1% was shown by the respondents for replying "No". It can be deduced from the results that teachers can easily subscribe and read Newspaper at home and in the school library during their vacant periods as their first preference. Students relied more on reading their Textbooks, Encyclopedia and can easily access to Internet for their home works, projects and as a sort of recreational activities since computer lessons are included in the school curriculum [5].

As regard to education, third question under awareness construct was raised as to "When did you learn nuclear energy and its related issues?" A remarkable result was manifested by the student respondents in studying nuclear energy and its related issues in the High School for 92% which was not shown in the graph for practical reason. Small portion studied the topics in their elementary years. These results can be best explained by the entry points of nuclear topics from first year to fourth year under the newly implemented curriculum [4] [10] [5].

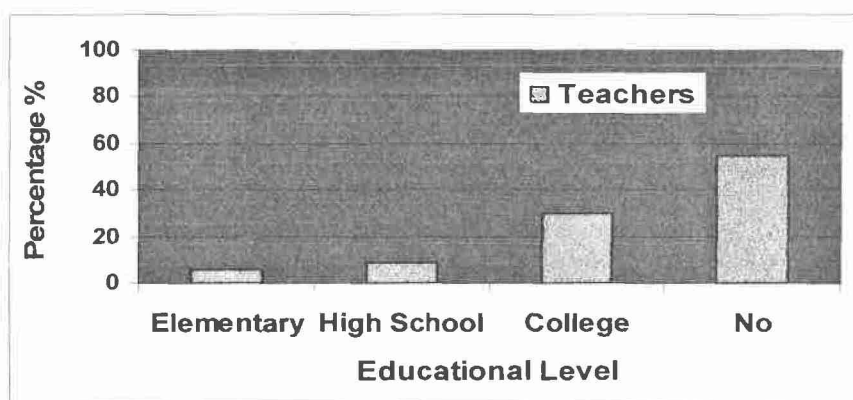


Fig.3: Teachers' data as to the question: "When did you learn nuclear energy and its related issues?"

Figure 3 shows a wide range of 55% teacher respondents for not studying nuclear energy. About 31% responded that they had studied these topics in College and around 9% in their High School years. A more pronounced result for not studying these topics is just an indication that in the Philippines, not all curricula for a Bachelor of Science College or University degree incorporates nuclear science technology as one semester course (consisting of 3 units). Although recommended by the Technical Panel of the Commission on Higher Education (CHED), it is not a requirement but the option of the particular school to include nuclear science and technology topics as one semester course in some Bachelor of Science curricula and to cite the University of Sto. Tomas, Manila, a private university offering nuclear science education [11].

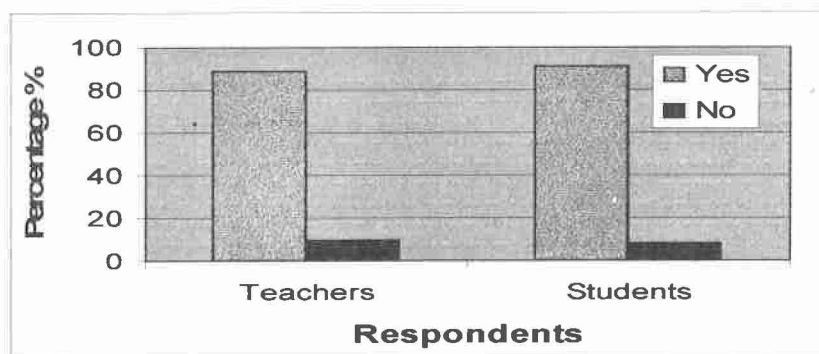


Fig.4: Comparative analysis between teachers' and students' data for question: "Do you know what radiation is?"

As shown in Fig. 4 almost 90% of the samples were able to manifest that they know radiation and a small portion replied "No" as 11% for teachers and 8% for student respondents. The positive responses made by the respondents suggest that in the Philippines the inclusion of nuclear topics in the curriculum coupled with some teaching strategies which include the use of CONSTEL (Continuing Science Education for Teachers via Television) video tapes donated by the University of the Philippines in cooperation with foundation for Upgrading of Standard in Education (FUSE), Science Education Institute (SEI)- (DOST), University of the Philippines National Institute for Science and Mathematics Education (UP NISMED) and Department of Education (DepEd) to Science Oriented High Schools [7] and Computer Aided Instruction (CAI) using video tapes from (DOST) where the objectives are both to strengthen teaching energy concepts in high school like expensive and dangerous experiments were simulated as in the motion of charged particles, nuclear reactions and the like were fruitfully carried out [12].

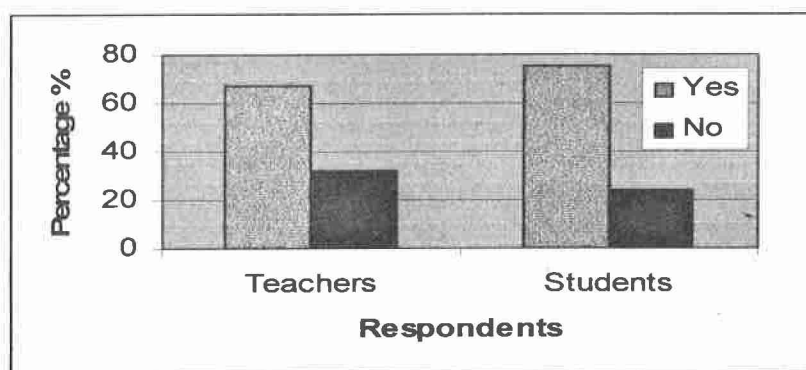


Fig.5: Comparative analysis between teachers' and students' data as to the question: "Do you know what radioactivity is?"

Figure 5 presents an affirmative response from student respondents with a difference of 8% over that of the teacher respondents. Both respondents acknowledged a negative response of 32% and 24% respectively. Affirmation of the respondents as to the concept of radioactivity can be attributed to the implementation of 2002 (BEC) where topics on nuclear energy were shifted into the first chapter of the curriculum guide for teachers so as to give more emphasis on these topics that before could not be taught thoroughly by some teachers due to insufficient knowledge to dig on the topics and teaching materials to be utilized for hands on activities [5]. More focused were provided for mental and visual exercises rather than psychomotor (actual experiments).

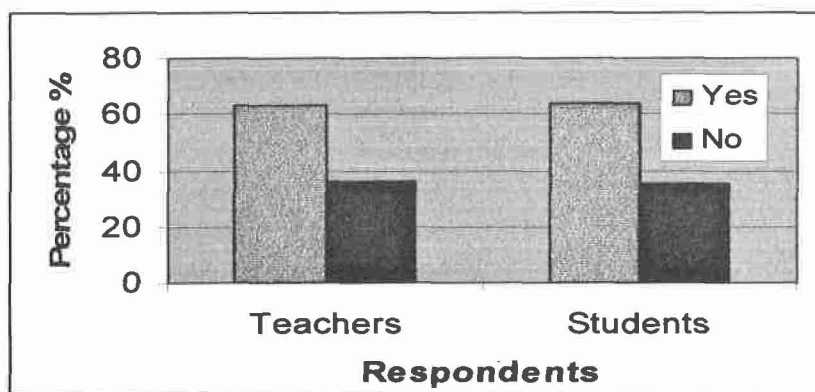


Fig.6: Comparative analysis between teachers' and students' data as to the question: "How about the difference between the two?"

As can be noted in Fig. 6 both respondents indicated a response less than 50% "Yes" over their negative responses made. An affirmative response given by the respondents can be best interpreted theoretically as to their operational definitions and some other related concepts that could easily be recalled and remembered due to intense conduct of drills and review lessons prior to the presentation of new lessons.

Follow-up questions were asked from both respondents as to "write anything that radiation and radioactivity reminds you of" and "illustrate freely your image about nuclear energy if you are familiar with nuclear power generation". For radiation, more answers were provided by both respondents as to "emission and transmission of energy through matter and empty space in a form of electromagnetic waves" and for radioactivity, as to "spontaneous breakdown of uranium and other elements to provide invisible radiation in which two separating powers fission and fusion are involved." Some other concepts associated with the study of radiation and radioactivity such as x-ray, thermonuclear, heat, alpha, gamma rays and power generation were also given by the respondents.

First two illustrations as represented by Fig.7 were samples drawn by teacher respondents as to their image about nuclear energy, simply show the splitting of a massive nucleus into two less massive fragments which is known as nuclear fission and the different mechanisms that comprised the nuclear reactor in which energy is generated by a controlled fission reaction [13].

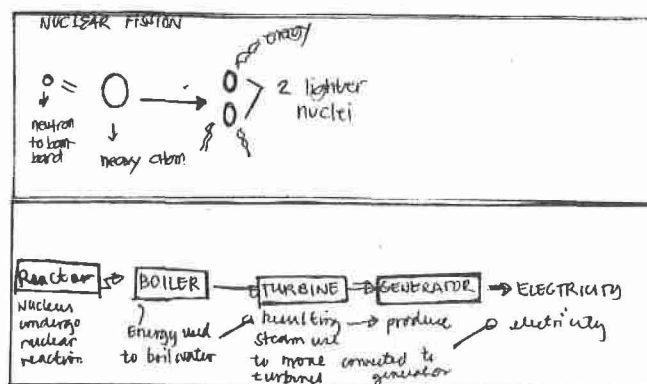


Fig.7: Sample illustrations drawn by the teacher respondents as to their “image about nuclear energy.”

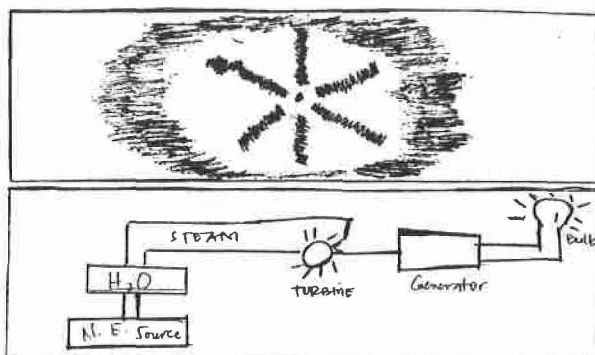


Fig.8: Sample illustrations drawn by the student respondents as to their “image about nuclear energy.”

Figure 8 presents the sample illustrations made by the student respondents. The first picture shows a thermonuclear reaction which occurs in stars like the sun where energy that is radiated comes from deep within its core where temperature is high enough to initiate the fusion process. The second diagram represents the transformation of energy to generate electricity [13].

It can be viewed that both sample respondents have clear perceptions and understanding of nuclear energy. Although 40% of the total respondents replied that they were familiar with the nuclear power plant generation, 60% responded oppositely but then, these 122 (40%) respondents have good image about this topic as shown by the positive results of the illustrations provided.

An in-depth study of the illustrations made by the respondents based from their positive responses can be used as a representation that the opportunity for nuclear power as a component of the Philippine’s energy mix can make them believe as economically viable, safe and clean technology [14]

As reflected in Fig. 9, when respondents were asked to answer five questions as to x-ray, natural radioactivity, greenhouse effect, waste disposal and petition filed by the residents of Bataan against the construction and operation of power plant, 52% got a score of 4, a score of 5 (perfect score) was reflected by 25% and combined, 23% got a score at or below 3 for teacher respondents. For student respondents, 17% got a score of 5, a score of 4 was indicated by 39% and combined, and 44% obtained a score at or below 3. A difference of 8% was demonstrated by teachers over that of the students who received a perfect score. Respondents who got a score of 4 performed well in the test since a score of 4 is a true score and a standard deviation equal to the mean (3.7), [15]. Awareness as to the topics might be accounted for their

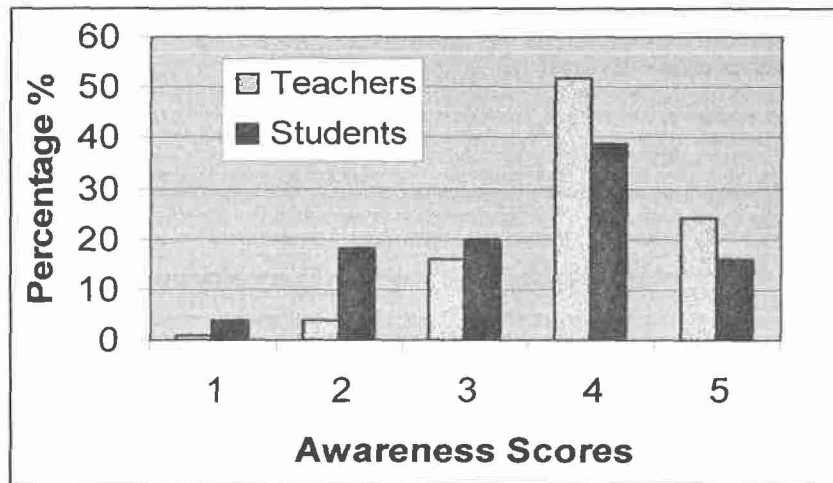


Fig. 9: Comparative analysis between teachers' and students' data as to "True or False" test results.

high interest in seeing and hearing information from television just like watching the aggressive mass media campaign, which resulted in 35 radio interviews, 39 television coverage/interviews and 4 press conferences spearheaded by (PNRI) and the dissemination of nuclear information packages to 27,580 clients as one of their intensive programs in promoting beneficial uses of nuclear technology. From the results of the survey conducted, some teacher respondents were able to use the modules written by the selected PNRI staff associated with slides and transparencies in teaching were also tested and distributed all over the country for the purpose of strengthening nuclear science in the Philippines [8].

Figures 10-12 shows the attitude of the respondents as to their level of interest, confidence and support towards nuclear energy and its related issues.

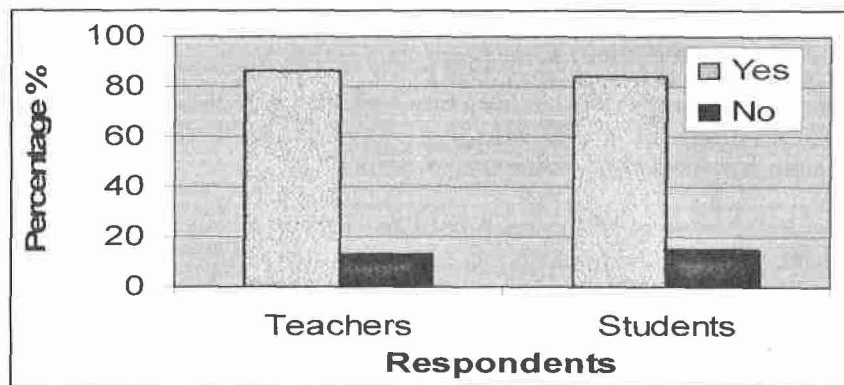


Fig.10: Comparative analysis between teachers' and students' data as to the question: Are you interested in nuclear energy problem such as nuclear power?"

As depicted in Fig.10 more than 80% of the respondents showed that they were interested in nuclear energy problem and less than 20% answered contradictory as to the issue. This might be the effect of the awareness that both the respondents obtained from studying nuclear energy associated with their exposure to mass information that might be brought about by the implementation of the Philippine Nuclear

Development Program (PNDP) where each of the member agency such as the Philippine Nuclear Screening Committee (PNSC), (DOST), and (PNRI) as in one way or another has formulated projects and activities to support the big task in setting the climate for public acceptance of nuclear option [8].

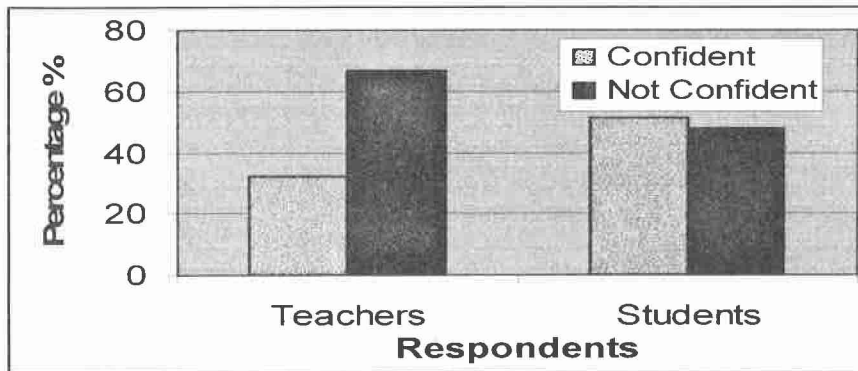


Fig.11: Comparative analysis between teachers' and students' data as to the question: "In general, how confident are you that the authorities responsible for nuclear waste have good system to deal with it?"

It can be gleaned in Fig.11 that more than 50% of the teacher respondents indicated a negative level of confidence over those who responded confident as to the matter. In the case of the student respondents, a difference of 4% was demonstrated by those who rated negatively from those who answered positively. The negative response given by some teachers might be brought about by a fear deeply rooted due to some accidents/incidents that happened abroad and to cite, the Chernobyl, Three Mile Island and Nagasaki and Hiroshima bombings [1].

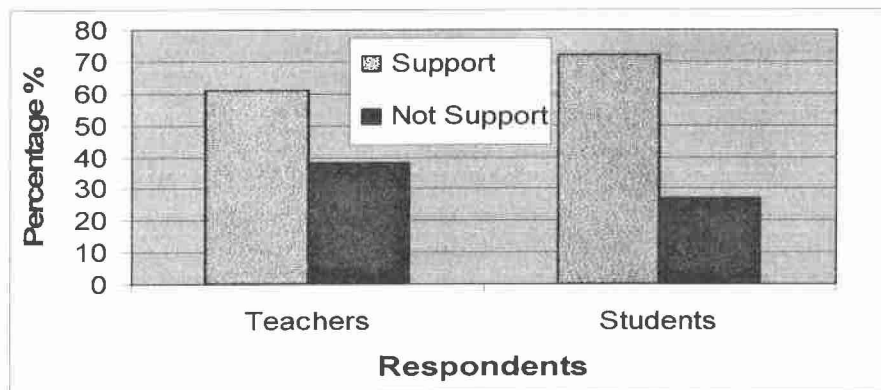


Fig.12: Comparative analysis between teachers' and students' data as to the question: "Do you believe that it is inevitable that nuclear power will be a part of generating mix in the Philippines for the next few decades?"

A difference of 24% was manifested by the teacher respondents who gave a rating of not support from those who rated a level of support for the future of nuclear power as presented in Fig.12. In the case

of the student respondents, 72% behaves positively and 28% negative as to the question. This behavior is just a manifestation that regardless of the controversy and resistance to nuclear power plant and the less confidence demonstrated by some teacher respondents; still they believed that nuclear energy has nevertheless been harnessed in the Philippines in improving food products and other agricultural resources and in line with diagnosis and treatment of diseases [8].

Further statistical analysis by cross tabulating one attitudinal question as to the level of support with demographic variable such as gender of teachers and students showed interesting results.

Using Chi-Square test (Continuity Correction), applied for 2 x 2 table for teachers' data, the corrected value is 2.47 with an associated significance level of 0.12 with 1 as a degree of freedom, is larger than the alpha value of 0.05 (5% significance level). The result showed that the gender does not make any statistical significant difference as to their level of support for the future of nuclear power plant [16].

Table 2

Chi- Square tests of independence on the relationship between teachers' gender and attitudinal level of support for the future of nuclear power plant.

	Value	Degree of Freedom	Asymp. Sig.(2-sided)
Continuity Correction	2.47	1	0.12

The percentage of male supporters was given by 81% and female supporters by 55%. In total, 38% of the total sample was non supporters and 62% was indicated by supporters as calculated in Gender-Level of support Cross tabulation.

Using the same test as applied for students' data, the corrected value is 0.00 with an associated significance level of 0.99 with a degree of freedom equal to 1 is larger than the alpha value of 0.05 (5% significance level). The result indicates that the attitude as to the level of support does not depend on gender for 243 student respondents [16].

Table 3

Chi- Square tests of independence on the relationship between students' gender and attitudinal level of support for the future of nuclear power plant.

	Value	Degree of Freedom	Asymp. Sig. (2-sided)
Continuity Corrections	0.00	1	0.99

Male respondents who showed a level of non support was given by 33% and 67% as supporters. Female supporters were indicated by 66% and 34% for non supporters. In total, 66% of the sample demonstrated positive behavior and the remaining 34% showed negatively as to the issue as computed using Cross tabulation.

4. CONCLUSIONS

Based from the foregoing findings the following conclusions were drawn;

1. Television as a form of broadcast and newspaper as printed media were able to help raise the awareness of Filipino teachers and students as regard the topics as can be attributed to the existence of educational TV program/channel associated with the linkages being conducted by PNRI with the assistance of Science and Technology Institute (STI), in keeping mass media abreast with nuclear developments through press conferences, TV interviews, dialogue with the media and press releases of PNRI technical staffs and officials in promoting beneficial uses of nuclear energy.
2. Reading Textbook and Encyclopedia and accessing to Internet helped develop students' awareness as shown by high mean scores. The inclusion of computer subject in the curriculum made them possible to search for issues and can browse related researches even theses and dissertations without much effort and report the results in class as a form of home work or project.
3. Lot of teachers was not able to study nuclear energy for some considerable reasons, but media's role in keeping them informed is of utmost a help added into it the use of slides and multi-media presentations provided by PNRI.
4. Both respondents showed good performance in the test as indicated by high mean awareness scores.
5. As to the different levels of attitude, both samples were able to behave positively except for the low level of confidence demonstrated by the teacher respondents that might be accounted for insufficient technical preparedness of men...natural catastrophe and man made disasters (e.g. terrorism, economic sabotage) would sound a great danger for them.
6. Awareness as to the topics would mean an indication of positive attitude.
7. Gender of both respondents did not show any statistical significant difference on their attitudinal level of support as to the future of nuclear power plant.

5. RECOMMENDATIONS

On the basis of the conclusions drawn from the study, the following are recommended;

1. As shown by the positive results of this study, media's role should continue to keep diverse publics intelligently informed and updated by spreading as many articles as relate to nuclear issues objectively.
2. Administrators should look into the possibility of having contacts with the technical staffs and officials of PNRI in coordination with DOST about the different training courses which are credited for M.S degree program and seminar for high school science teachers on nuclear science topics and hands on experiments in teaching of Physics, Chemistry and Biology accredited towards a Master degree, being offered so as to give their subordinates a chance of becoming confident and competent in teaching nuclear science. Radiation protection training should be affirmed, reinforced and supported financially by the employer.
3. Curriculum planners should continue to watch the curriculum by conducting Meta cognition (Planning, Monitoring, and Evaluating) of outputs in line with nuclear science to probe whether or not the acquired knowledge and skills were put in good use in improving teachers' teaching efficiency.
4. People from the higher ups should screen the things to be changed carefully, control them seriously and implement them constructively.
5. Once equipped with the necessary skills and knowledge about nuclear energy, educators are urged and encouraged to teach to students not only experimental techniques of radiation but also the wide implications between science and society at an early age.

6. Educational tours to PNRI facility should be included in the school program as much as possible.
7. The results of this study can be replicated and validated by conducting a similar research.

Acknowledgments

The authors would like to express their grateful appreciation to the staffs and personnel of Japan International Cooperation Agency (JICA) for that endearing support and assistance, Mr. Shiro Kanayama, Officer In-charge (JICA), Shikoku Branch Office, for his kind heartedness and cooperation, Professor Tokuo Matsukawa for his untiring encouragement and sincere accommodation, Professor Makoto Honda for his moral support and inspiration and to Professor Shin-ichi Kudo for his intelligent and helpful suggestions in the development of this paper.

References

- [1] Quilop, R. "Using Nuclear Energy: A Philippine Experience" Department of Political Science, University of the Philippines.
- [2] Bowen, William, Robinson, Michael. "Global Environmental Priorities of Engineering Students in Krakow Poland."
- [3] Cobern, W. (1993). Contextual constructivism: The Impact of culture on the learning and teaching of science. *The Practice of Constructivism in Science*. Washington DC: AAAS Press.
- [4] Bernido, C., "Status of Radiation Education in the Philippine," *Proceedings of International Symposium on Radiation Education (ISRE98)*, September 1999, pp. 157-163
- [5] *Guidelines for the Implementation of 2002 Basic Education Curriculum*.
- [6] David, J., "Teachers Urge to Teach More on Nuclear Science" an article from Net firms Web site.
- [7] The IBE Web site.
URL: <http://www.ibe.unesco.org/international/Databanks/Dossiers/iphilipp.htm>.
- [8] Lozada, A. Jr., Nuclear Energy and Its Acceptance in the Philippines. International Atomic Energy Agency, "Regional Workshop on Nuclear Information for Decision Makers", Kuala Lumpur, Malaysia: 6-7 March, 2000.
- [9] Cabalfin, E. "Workshop- FNCA2001 Philippines Hosts Project Leaders Meeting on Public Information of Nuclear Energy, Nuclear Services and Training Division."
- [10] Bureau of Secondary Education, Department of Education Culture and Sports, "Philippine Secondary Schools Learning Competencies", Science and Technology, latest revision, 1998.
- [11] Bernido, Corazon. "Country Report for the Philippines", Philippine Nuclear Research Institute Diliman Quezon City 1101, Philippines.
- [12] Ong Kian, Bee Ching, "Improving Academic Curriculum in Science Education through Technology: Implication for In-Service Training of Science and Mathematics Teachers", De Salle University.
- [13] Cutnell, John and Johnson, Kenneth. Physics. Southern Illinois University at Carbondale: John Willy and Sons, Inc., 2001, pp. 984-988
- [14] Valdez, E. "Establishment of National Radiation Protection Infrastructure: The Philippine Experience."
- [15] Arsham H., *Questionnaire Design and Survey Sampling*, SySurvey: The Online Survey Tool, 2002.
- [16] Pallant, J. SPSS Survival Manual. New York: Open University Press, 2001

5.5 Radiation Education in School

学校教育における一般的放射線基礎知識についての考察

Teruko Shishido, Emiko Higashijima and Michihiro Hisajima

穴戸てる子 (A) (B)、東島恵美子 (A)、久嶋道広 (C)

Tokyo Medical University, 6-1-1 Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo, 〒160-8402, Japan

(A) 学術NET (〒165-0032中野区鷺宮3-19-15-207)

(B) 東京医科大学物理教室 (〒160-8402 新宿区新宿6-1-1)

(C) 東京医科大学RI研究室 (〒160-8402 新宿区新宿6-1-1)

Tel: 03-3351-6141, Fax: 03-3351-6110, E-mail: shishido@tokyo-med.ac.jp

Abstract

Part of goals of general education of physics is to provide students for basic knowledge on radiation. This includes understanding of both its risks and benefits. Students should know how to protect and defense from radiation but they should not overwhelm the risk of radiation. Sometimes, students think that atomic power is so terrible and frightening that they keep away from use of atomic power. Basic knowledge about risks of radiation will reduce the excessive reaction or anxiety coming from radiation. It also makes people understand other possible risks and benefits of radiation accompanied by modern scientific technologies such as nuclear technologies. We believe that the radiation education is an essential requisite for the peaceful usage of nuclear energy and radiation technology for the future.

1. はじめに

人類が放射線現象の特異性になじむ努力せずに、危険性のみを強調して背中を向けて逃げてばかりいては何も解決策が生まれない。核開発技術も含めた現代科学技術に関する基本的な知識を十分に身につけた上で、正しい防御方法と安全性とを学び、さらに有効利用性を追及しなければ、結果として、人類の究極の目標でもある核平和利用の目的は達せられない。その上、放射線の安全性に関する基礎的知識の欠如により不必要なほどの不安を感じ、目を逸らしたり目を閉じてしまう結果無知が引き金となって、逆に悪い結果を増長する。人類は、生まれてすぐに太陽からのradiationを身をもって体験するが、生徒は、何時如何なる場面で最低限の基礎知識を身につけることがふさわしいか。しかし、日本の高等学校課程では事態は悪い方向にしか運ばない。物理選択希望者が減少の上、さらに、2006年からは大学入学試験の物理問題に原子・原子核に関する問題を出されても困るという趣旨の要望書を物理教育学会等関係団体が全国の大学に送った。理由は、授業時間削減のあおりで原子q核に関しては十分に教育する授業時間が足りないことを理由にしている。

では、教育機関の物理担当者が不足を補って教育すれば問題が無いが、核開発から逃げ腰を決め込む学者も少なからずいるために、問題が極めて悪質になってくる。例えば、磁性研究分野でメスバウアー測定装置がよく利用されている。マグネタイトの場合、天然鉄

に含まれる放射性同位体が放射する γ 線のエネルギーを測ることを当の研究者が全く知らなくても、固体内部の電子配位の説明に利用する。この例のように教育的被害の大きさをすぐに想定できないことも教育悪化の事態を重くしている。一方、著者らは、プレメディアルの過程の大学3年の少人数自主研究テーマ「放射線を探る」で、丸二週間に亘り実施した。まず、天然放射能の実態を知る。そのために、 β 線と γ 線とを簡易測定器を用いて、バックグラウンドとついで天然石（有馬温泉の近くで手に入れた花崗岩と岡崎市の花崗岩）について十分に時間をかけて（各1時間）測定して、人体についての放射線の安全性を把握する入門コースとし、有効な結果を生むことができた。本報告では、限られた授業時間を最大に生かすために、人類に必要な知識の選択を有効に行えるように情報を提供するとともにその事の大切さを強調したい。

2. 非専門教員及び学生の専門用語の使用能力の実例

我々は原子力利用の諸問題を避けては通れない。したがって、人類に課せられた問題について、関連事項として[放射能]を取り上げたカリキュラムの例がある。これについて、担当教員は非専門領域の部門の担当であるが、指導のための指針をA4版4枚にまとめた。一方、授業を終えた学生が、12人一組でやはりA4版4枚にまとめたものが二組ある。中身は、放射能をテーマに調べたり考えたり、グループで討論して練り上げたまとめを報告書である。それぞれの報告に書かれた用語のうちには教育の欠陥をそのまま露出したと思われるところがあったので、報告する。

(1) 非専門教員及び学生の専門用語の使用能力の実例

非専門教員が書いた文中には、単位「キュリー」を用いて、ベクレルの使用になれていない。

学生の報告書の中に全く出てこない専門用語として「崩壊」、「線量」があげられる。一方、表現として間違った内容として「低線量放射線は生理学的に好ましい影響を与える。」という表現である。この表現では、低線量放射線はがん細胞発生の予防効果がある。」という都合の良い解釈を生んでいる。実際には、「がん細胞の治療に低線量放射線の効果が認められる。」であり、健康な細胞には低線量放射線の影響は考えられない。とする必要がある。1)

(2) 学生の専門用語の使用能力の実例

学生の文中で気になることは、放射線曝露、放射能汚染といった、マイナス思考の言葉の流れや、さらには、動物の短期的な突然変異の出現といった遺伝的影響の可能性を疑っている。

このことは学生の幼児、児童期に出現した、フィクションの「ゴジラ」や「風の谷のナウシカ」といった映画の影響もあって、脳裏に焼きついたイメージを信じて疑わないことも事実である。

このことは、「放射能汚染」という言葉ではなく、今時の学生の文中に過って使われた「放射線汚染」といった言葉が作られる結果を生んでいる。しかし、単なる言葉の誤りで片つけることは軽率ということになる。なぜならば、大切な概念としての思考回路の中に

組み込まれていない礎を新たに教育の場を通して形成していかなければ解決できない問題であるためである。

3. 日本の教育研究における放射線分野の論文数調査

日本の教育研究の中で、放射線教育についての関心や、担当教育者の興味の視点について日本物理教育学会で発行している「物理教育」の2000年版と2001年版について、各物理分野についての研究論文数から追ってみた。(Fig. 2) 項目の中で9. 現代物理の中に数えてグラフにした。放射線教育について追ってみると、一年に一論文が出てくればよい方で、非常に少ない。この傾向は、放射線教育に関しては、手軽に研究できることではなく、一方、研究する興味を持つ者も少ないことになる。

4. 放射線教育の現状

医学生用の放射線教育には、法律や、現実の大学内の放射線実験施設の場所とその各種等、また、廃棄物等の諸注意といったコースが用意されていて、一通りの専門家用の講義も行われたが、そのほかに、医学部3年の学生が基礎知識としての放射線を学ぶ際に、実際に自然界のバックグラウンドについて時間と手間をかけて測定を行った。すなわち、任意の場所で簡易測定を行って、わずかな条件でも異なれば、その影響が出てくることを学んだ。放射性降下物の測定²⁾でも所謂バックグラウンドの放射線との有意の差が出ているのかということになると、バックグラウンドの平均値の二分の壱程度の強度であったので、バックグラウンドを測定誤差として扱ってしまうと、全く意味を持たなくなる。ここでは、多くのフォールアウトの測定者が行っているように、バックグラウンドをきちんと平均値として押さえておくことの重要性を強調する。簡易測定器を用いて測定を行う場合には、例えば、5秒毎の測定値の一分の平均値を時間あたりに換算して、単位を $\mu\text{Sv/hr}$ というように求めた場合、根気よく丹念に100分まで継続して1分毎のデータを取る。二分目のデータを記録したら、一分目と二分目データの平均値を取る。 n 分間後での平均値は $\Sigma x_i/n$ を取る。これをグラフの縦軸、 n を横軸に取る。(Fig. 1) グラフから40分を経過すると、平坦になって、各時間ごとのデータ同士の気になるスペクトラムも、問題外ということに落ち着く。したがって、この結果を踏まえて、天然石の花崗岩を手に入れたら、バックグラウンドと同じ要領で、40分間の各分ごとのデータを辛抱強く記録に残し、念入りに各平均値を求めて、40分後には、わずかでも、 γ 線を確認するに至る。ベータ線については、同様に、バックグラウンドの約2倍程度のデータの平均値を得るので、正味のベータ線は、バックグラウンドと同程度であることが分かる。以上の例は、測定機器の利用法の開発であり、従来、資格が無いと保管の不可能な特別な線源を用いなくても、花崗岩に対しては γ 線用の簡易測定器を用いて測定をすることも可能であることを示した。

5. 結論

放射線教育を学校で行ってみて気がつくことは、学生の不足している学力をカバーすることが大切である。そのためには、教育指導者として十分な知識を得ており、従って放射線について自信を持って客観的に学生の素朴な疑問に誠意を持って応答できる先生が存在することが重要である。

四十年前（1960年代）に世界規模で大量の核実験が行われて、「持てる国」という言葉が意味を持った頃には、核についての学問的研究は最先端の科学と扱われた。その当時の核研究者たちは核の平和利用を目指しさえすればよかった。その当時は核廃棄物の心配をしないでよかった。しかし、今では、人類は、核廃棄物の処理としては、原始的に、地中深く葬ることしか方法が無く、人類の核の平和利用という目的達成を目の前にぶら下げたまま、実際面で大きな影を落としてしまったことも事実である。しかし、まだ、人類には科学研究に大きな賭けをしてもよいのではないかと。著者らが生きてきた半世紀近い期間に人類は多くの不可能なことを可能にしている。従って、今でこそ、地中深い核廃棄物埋設作業に、今後何らかの光明をさすような研究を、未来を担う学童、生徒に大きな課題として託すことを宣伝してもよいのではないかと考える。

引用文献

- 1) 坂本澄彦：ひろば5月号, 256, 1（東北原子力懇談会）（1999）
- 2) 宋戸てる子、外：東京医大誌 40、401,(1967)

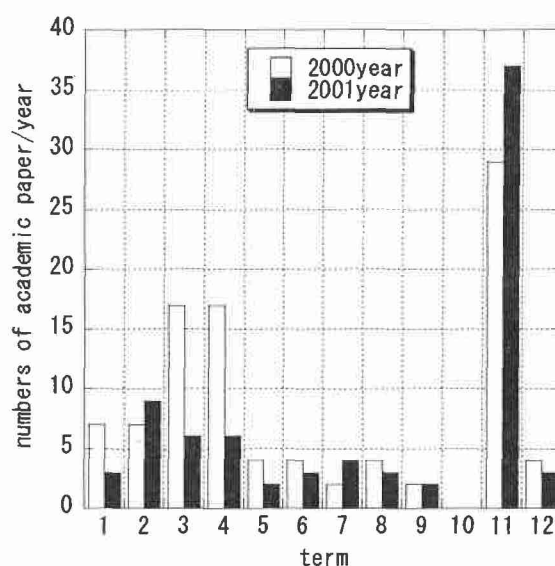


Figure captions

Fig.1. Numbers of academic paper on physics education, on 'Buturi kyouiku', published by Nippon Buturiyouikugakkai, the society of Physics Education of Japan, 2000 and 2001.

1 :Information, 2:Mechanics, 3:Wave and Frequency, 4:Electricity and Magnetism, 5:Optics, Applied optics, 6:Heat, 7:Solid state, Super conductivity, 8:Fluid dynamics, 9:Modern physics, Radioactivity and radiation, 10:Electronics, laser, 11:How to teach, syllabus, 12: examination,

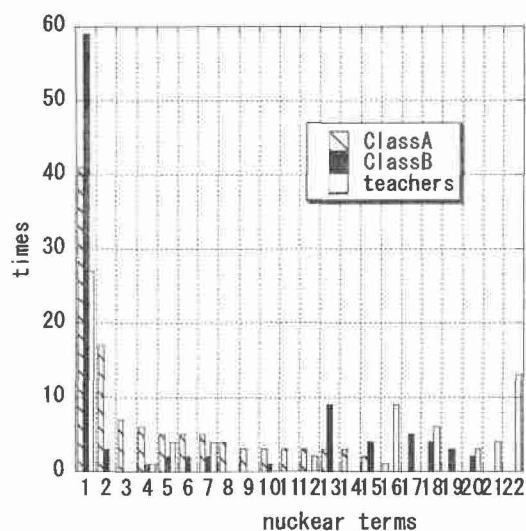


Fig.2 Radioactivity and radiation terms by teachers and students, class A and class B. Among four sheets of A4 size paper there are nuclear terms expressed on the radioactivity and radiation. 1: radiation, 2: atomic power house, 3: Gy, grey, 4: γ -ray, 5: α -ray, 6: radioactive isotope, 7: Sv, sievert, 8: daughter, 9: nuclear, 10: β -ray, 11: neutron, 12: natural radioactive nuclear, 13: radioactivity, 14: disintegration, 15: X-ray, 16: Ci, curie, 17: low dose, 18: radiation exposure, 19: radiation treatment, 20: natural radiation, background, 21: decay, 22: dose.

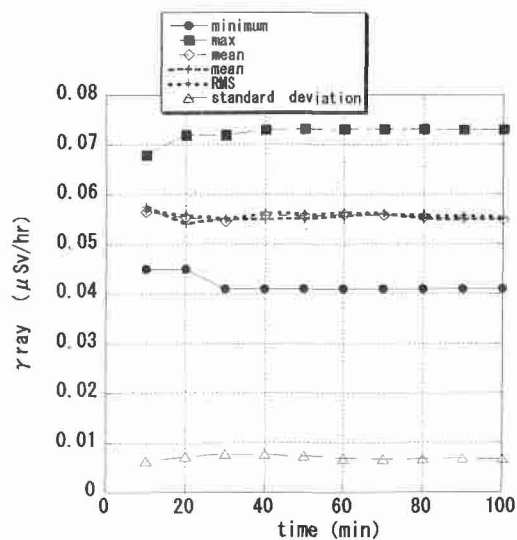


Fig.3 Natural γ ray (μ Sv/hr) in the standard room (made of concrete) measured by the easy hand type scaler, 'Hakarukun'. We can see the value of each time becomes to the constant value after 40 minutes.

Table 1. 'Disintegration' or 'decay' in general education books for students
Chemistry Book

	Author	Book Title	Publisher	Year	Word (limited)
1	Iso, <i>et al</i>	General Education Chemistry	Kyougakusha	1987	disintegration
2	Inamoto	New Chemistry	Bunneido	1986	disintegration
3	Uchiyama	Fundamental Chemistry	Kyouritu-shuppan	1991	decay
4	Sano, <i>et al</i>	Life Science Chemistry	Gakkaishuppancenter	1990	disintegration
5	Asano, <i>et al</i>	Chemistry	Gakujutsutosho	2002	disintegration
6	Kawaguchi, <i>et al</i>	Chemistry	Ishiyakushuppan	1991	transition, decay disintegration
7	Shiomi, <i>et al</i>	University Chemistry II	Hirokawashoten	1991	decay
8	Nomura, <i>et al</i>	Fundamental Chemistry	Maruzen	2003	(nothing)
9	Ohno	Student Chemistry	Sannkyoushuppan	2001	(nothing)
10	Kojima	Foundational Chemistry	Kagakudojin	2002	(nothing)

Physics Book

	Author	Book Title	Publisher	Year	Word (limited)
1	Ohtsuki	General Education Physics	Gakujutsutosho	1988	decay
2	Hujishiro	New Physics	Tokyokyogakusha	2002	decay, disintegration
3	Koide	Physics	Tokyokyogakusha	2003	decay
4	Hara	Detailed Physics	Tokyokyogakusha	2002	decay
5	Hashimoto, <i>et al</i>	General Education Physics	Hirokawashoten	1989	decay
6	Hayashi, <i>et al</i>	Medical course Physics	Maruzen	2002	decay
7	Ishii(Sternheim, <i>et al</i>)	Life Science Physics	Hirokawashoten	1991	decay
9	Sunagawa	Feynman-Physics	Iwanamishoten	1979	(nothing)
10	Sawada	Foundational Physics	Kagakudojin	2002	(nothing)

5.6 Energy resources for mankind Considered from the earth evolution

Shin-ichi Ohno and Saburo Shimizu

大野新一, 清水三郎

Theoretical Radiation Research Laboratory

理論放射線研究所

Shiratori-dai 12-5, Aoba-ku, Yokohama-shi 227-0054

Tel: 045-981-8752 Fax: 045-981-7950 E-mail: ohno-trl@01.246.ne.jp

Abstract

太陽系の形成と地球と生命の進化を考えることから, 地球に含まれているエネルギー資源量を見積もることができる。すなわち地球は熱エネルギー 10^{31} J, ウラン及びトリウムなどの原子力エネルギー 10^{30} J, 化石エネルギー 6×10^{24} J をもつ。またこれから人類が消費するであろうエネルギー量を見積もるとわずか 3×10^{24} J であった。こうした検討を生徒自らがすすめるようなカリキュラムを提案する。

1. Introduction

The amount of energy resources contained in Earth and that we mankind can use in future can be estimated on the basis of the information given by astrophysical and geochemical considerations. The kind of resources includes geothermal, nuclear, solar, and fossil energy. We believe that the results of these considerations, especially the method of thinking, may be taken into curriculum in high schools or introductory courses of university education. In school education relating to energy and environmental problems we think that it is more important for the students to learn how to think or estimate and how to solve the problems than to be given any established knowledge itself from the teachers and reference books or journals. Students are easily discouraged by teachers who are talking that petroleum will be exhausted in 40 years or that uranium-235 will be also exhausted unless we develop the nuclear fuel system utilizing uranium-238 breeding. They seem afraid of insufficient energy left when they grow old. In this report we call the readers attention that the amount of energy resources contained in Earth is such that the mankind can never exhaust them and that they are waiting to be exploited or for the time to come when the technology for their utilization is developed. We also pay attention that too much consumption of energy surely affect the earth environment (heat pollution) – the limit will be the consumption rate of about 0.1 W/m^2 of the earth surface which equals to the heat emission rate from the earth surface toward the space.

2. Geothermal energy contained in the earth

Geothermal energy contained in the earth can be estimated from the temperature distribution among the crust, the mantle, and the core each situated at different depth from the surface of the

earth. (See Fig. 1) Since the formation of Earth at 4.6 G years ago, Earth has experienced differentiation processes—bombardment of meteorites and comets during 4.6 – 4.0 G years ago caused the earth surface melted (magma ocean) from which the atmosphere (and also ocean) by degassing of included gas components was differentiated and simultaneously the core composed of heavy metals such as iron or nickel was precipitated. The remaining part was further separated according to the density to form the mantle and the crust. The energy the earth has acquired since its formation is the thought as:²⁾

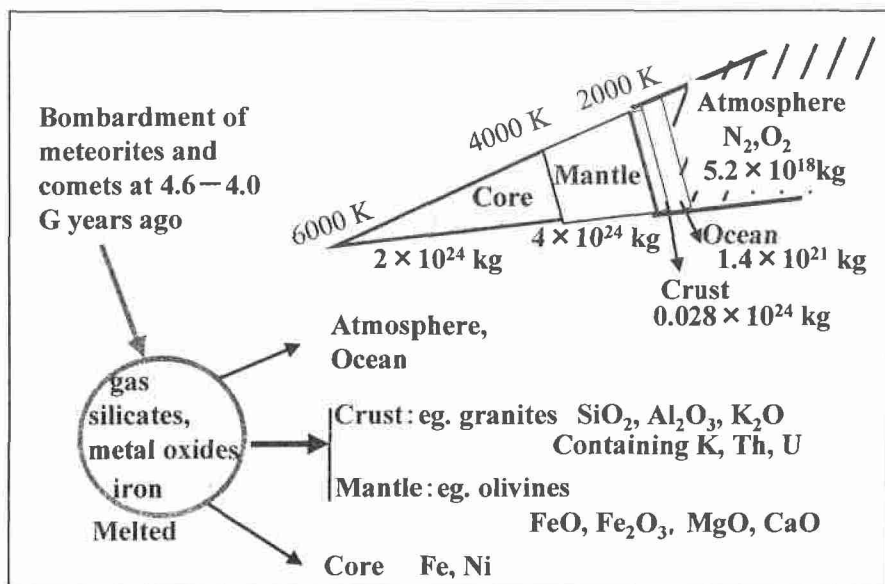


Fig. 1 Formation and structure of the earth

- (1) Gravitational energy released at formation of Earth (2.8×10^{32} J)
- (2) Radiation energy liberated on disintegration of radioactive nuclides ($\sim 1 \times 10^{31}$ J)
- (3) Released energy of gravitational contraction ($\sim 1 \times 10^{31}$ J)
- (4) Phase transition/ chemical reaction of Core material ($\sim 1 \times 10^{31}$ J)

It is thought that of these energies about 10% each is still stored in Earth. The other energy was emitted to the space through transport by mantle convection or discontinuous conduction rather than static thermal conduction. If we assume that thermal emission rate presently being observed (~ 0.1 W/m²) has been continued for 4.0 G years long, we have as total energy emission $0.1 \text{ J/s m}^2 \times 3 \times 10^7 (\text{s/y}) \times 46 \times 10^8 (\text{y}) \times 5 \times 10^{14} \text{ m}^2 = 7 \times 10^{30}$ J.

We can make another estimate using the masses and temperatures of the earth components. The core (2×10^{24} kg, 4000 K) is assumed to be composed of 2×10^{49} iron ions and electron ($= 2 \times 10^{24} \text{ kg} / 0.056 \text{ kg} \times 6 \times 10^{23}$). The thermal energy the core has is thus $2 \times (3/2) k_B T \times 2 \times 10^{49} = 1.4 \times 10^{-23} \times 4000 \times 3 \times 2 \times 10^{49} = 3.4 \times 10^{30}$ J. Similarly the mantle has the energy of 3.6×10^{27} J, assuming the mantle (4×10^{24} kg) being described as $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ at 2000 K.

3. Carbon dioxide concentration change in the earth atmosphere

The earth atmospheric components at 4.6 G years ago are thought to be mainly CO₂, H₂O, and N₂. With times went on for cooling, H₂O condensed to form ocean which absorbed CO₂. Attention may be paid here to the fact that rain and river water dissolving some metallic ions contained in the rocks and flowing into ocean caused to absorb the more CO₂. CO₂ concentration diminished thus to the present value 0.03%. In the course of diminishing, photosynthesis reaction began to occur about 2.7 G years ago.



The oxygen molecule evolved in the ocean first oxidized the iron ion (Fe²⁺) to precipitate as Fe₂O₃ and, after the exhaustion of the iron ions, accumulated as oxygen existing in the atmosphere. But the oxygen could have been accumulated in the atmosphere only when the organic molecules went under the ground to become fossil. Therefore, we may conclude that the number of fossil organic molecules equals to the number of oxygen molecules in the atmosphere plus the number of iron ores in the crust. Here, we may think that roughly speaking the earth has almost equal amount of iron and magnesium, as seen from **Table 1**. The solubilities of iron chloride and magnesium chloride toward water at 20°C are nearly the same, 38.5 and 35.5 respectively. Thus, the concentration of magnesium (1.3 g/kg sea water) in the present ocean (1.4×10^{21} kg) gives the iron amount in the iron ores in the crust. The oxygen mol number exhausted in this process is 1.3×1.4

Table 1 Some elemental abundance in solar system
($\text{Si} = 10^6$) (Anders and Crevesse, 1989)

Volatile elements listed in the left column went to outer planets while refractory elements in the right column went to inner planets including the earth. A part of oxygen, however, remained as metal oxides in inner planets (right column).

Volatile elements	Refractory elements
• H 2.79×10^{10}	• Mg 1.07×10^6
• He 2.72×10^9	• Si 1.00×10^6
• O 2.38×10^7	• Fe 9×10^5
• ($- 3.8 \times 10^6$) \longrightarrow	• Ni 4.9×10^4
• C 1.01×10^7	• Al 8.49×10^4
• Ne 3.44×10^6	• Ca 6.11×10^4
• N 3.13×10^6	• K 3770
• Ar 1.01×10^5	• Th 0.0335
• Xe 4.7	• U 0.009

$\times 10^{21}/56$ and the oxygen mol number in the atmosphere is ($= 20\%$ of $5 \times 10^{18} \text{ kg}/0.032$) 3×10^{19} . Thus, the organic molecule (fossil fuels) under the ground is 6×10^{19} mol or 0.2×10^{19} kg. This gives 6×10^{24} J, as the enthalpy change of reaction being 100 kJ/mol.

4. Estimation of uranium and thorium resources from earth formation process ³⁾

Elemental abundance of solar system is obtained from the analysis of emission spectrum of solar flares and chemical analysis of meteorites.²⁾ (See Table 1) Of the elements, refractory elements made the inner planets, such as Venus, Earth, and Mars, while volatile elements flew away from the sun, thus forming outer planets. Of the mass of Earth 6×10^{24} kg, 32 % is made from Fe, 32 % from O, 15 % from Mg, 15 % from Si, and $1.13 \times 10^{-6} \%$ ($= 6.78 \times 10^{16}$ kg) from U, and 2.4×10^{17} kg from Th. Of the uranium, 0.7 % is U235 which will give 200 MeV ($= 3.3 \times 10^{-11}$ J) of energy/U235 atom. Likewise, Th232 on reacting with neutron to give U233 is regarded as energy resource just like U235. Thus, nuclear energy resources in the earth is as follows:

$$\text{U238: } 1.7 \times 10^{41} \times 3.3 \times 10^{-11} \text{ J} = 5.5 \times 10^{30} \text{ J}$$

$$\text{U235: } 5.5 \times 10^{30} \text{ J} \times 0.7 \% = 4 \times 10^{28} \text{ J}$$

$$\text{Th232: } 2 \times 10^{31} \text{ J}$$

One should note that in this consideration was not included the nuclear fusion reaction. When this technology is completed, then the amount of nuclear energy would be tremendous.

5. Solar energy

The photon energy emission rate from the sun is well known as to be 1.4 kW/m^2 incident onto the earth surface. As the crust consists of insulators, the energy falling onto Earth is eventually reflected to the space as infrared radiation. Meanwhile, the energy is absorbed by pertinent molecules or plants at the surface, adopted to promote biological reactions and to vaporize the sea water, to cause an ocean current or atmospheric winds, and finally is exhausted as thermal energy. Solar energy, though it is not convenient to use at present because of its low-energy condensed form, can be used and it is needless to mention that mankind already has started to use it.

6. Energy resources mankind will consume

Biologically mankind consumes energy of $2,000 \text{ kcal/day} = 8,000 \text{ kJ/day}$ while in modernized society as in USA or Japan mankind consumes hundred times more. If we assume the world population of 10^{10} (the present population: 6.3×10^9), total consumption rate is $8 \times 10^8 \times 10^{10} \text{ J/day}$. This rate continuing for 1,000 years, we have as the total mankind consumption $3 \times 10^{24} \text{ J}$.

7. Energy consumption rate of mankind and its evolutionary effect on the earth

Table 2 summarizes the amount of several energy resources hitherto discussed together with the predicted amount of energy mankind will needs and geothermal energy flowing out though thermal conduction for the convenience of comparison. As we see easily, predicted amount of

mankind energy consumption is only negligible compared to the energy resources the earth contains. Of course, different kind of resources has a different degree of easiness or difficulty of consuming energy. Moreover, the difficulty depends on each country, its economical situation, and the technical development stage. We do not discuss these problems here.

Table 2 Energy resources contained in the earth and others

Present results together with predicted amount of energy mankind will needs and geothermal energy flowing away though thermal conduction

Geothermal energy	$\sim 10^{30}$ J
Fossil energy	6×10^{24} J
Solar energy (of 1,000 years)	7×10^{30} J
Nuclear energy (fission only)	10^{31} J
Mankind consumption energy for 1,000 years	$\sim 3 \times 10^{24}$ J
Thermal energy emission rate from the earth	~ 0.1 W/m ²

We discuss next what will be the effect of mankind consumption of energy on the earth evolution as follows:

- (1) Energy resources: Predicted energy consumption of mankind ($\sim 3 \times 10^{24}$ J) is so small compared to the total amount of energy contained in the earth ($\sim 10^{31}$ J) that we need not consider the effect.
- (2) Thermal energy emission: Mankind energy consumption rate $8 \times 10^6 \times 100$ (J/person) $\times 10^{10}$ (person) = 8×10^{18} J/day divided by the total earth surface gives 1.6×10^4 J/day m² = 0.2 W/m² which comparable or even more than thermal energy emission rate 0.1 W/m². This would result in great influence on the earth environment.
- (3) Fossil energy: Mankind would consume fossil energy resource in thousand years if they solely rely on fossil energy as their energy source.
- (4) Carbon dioxide and water: Both are known to be a greenhouse effect gas. Water will go to the ocean, we may worry about carbon dioxide. But the oxygen shortage might be more serious influence, if we continue to rely on fossil energy.
- (5) Radioactive wastes: We draw attention first that nuclear fuel U235 itself is radioactive. Nuclear power plant consuming one U235 atom produces 1.5 fission fragments and 0.3 Pu. So, operation of totally 1,000 plants of 1 GW for 1,000 years would consume 3.9×10^8 kg of U235 (half-life 7.5×10^8 y) and 3.9×10^8 kg of U238 (half-life 45×10^8 y) and produce 2×10^8 kg of Pu (half-life 2×10^4 y) and 6×10^8 kg of MA + fission fragments (half-life less than 2×10^6 y) where MA denotes minor actinides such as Np, Am, or Cm. The crust (3×10^{22} kg) itself contains U235, U238, Th232, and K40 nearly homogeneously, causing the radiation exposure of 0.6 mSv/year at the earth surface. Present examination teaches us that operation of nuclear plants will transform only about $1/10^8$ of U in the crust into radioactive material with short

life-time. Thus, we can say that radioactive wastes can not influence the earth environment⁴⁾

8. Conclusion

In the curriculum we propose here, students are supposed to learn first about the formation process of the solar system and the earth and life evolution through attending the class of geology and biology and then to learn how to estimate the amount of energy resources, including thermal, nuclear and fossil energy, from investigation of the earth history. (1) Geothermal energy from the energy release on mass accretion at the earth formation 46 billion years ago followed by thermal transport and energy emission from the earth surface. (2) Fossil energy buried in the ground from the amount of iron ions oxidized in the ocean and the oxygen in the atmosphere. (3) Uranium and thorium concentration in the crust estimated from elemental abundance of solar system in addition to elemental distribution inside the earth. (4) Measurement of the solar energy incident to the earth surface.

When the estimate from these investigations greatly differs from those reference books and journals give, the students should consult with the class of sociology to study as technical or economical or international political problems. Furthermore, estimates of the total amount of energy that the mankind will consume can be done. Assuming that the world population of 10^{10} each expending 100 times of the energy necessary to live as living things in modernized society for 1,000 years is one such examples. Next to do for the student is to study what effect the consumption rate of energy will give to the earth environment. Students will learn by themselves through mutual discussion and from the suggestion the teacher gives that the amount of energy resources remaining in the earth is large enough so as not to worry about their exhaustion and that, however, we should pay attention to great influence toward earth environment, as heat emission accompanied with energy consumption becomes possibly as large as intrinsic thermal emission rate of the geothermal energy inside the earth.

References

- 1) Matsui T: Uchuujin tositeno Ikikata, Iwanami Shinsho 839 (2003)
- 2) Matsui T, et al: Introduction to Earth, Solar System Science I, Iwanami Pub. (1996)
- 3) Ohno S, Yagi K, Arai H: Radiat. Educat. 5, 41 (2001)
- 4) Ohno S, Yagi K, Arai H: J. Soc. Atomic Ene Autumn meeting, (Shizuoka) Abstract p.2 (2003)
- 5) Rikanennpyou, Maruzen (2003)

5.7 Trends Concerning Description of Radiation and Nuclear-Related Matters in Current Textbooks Used at Junior and Senior High Schools in Japan

日本の中学・高等学校教科書における放射線関係の記述に見られる傾向

Tatsuo MATSUURA, Junko SEKIMOTO, Shinji TAKAGI, and Yuichi IIRI
松浦辰男、関本順子、高木伸司、飯利雄一

Radiation Education Forum
NPO法人放射線教育フォーラム

〒100-0013 東京都千代田区霞ヶ関 3-3-1 尚友会館 B1F、mt01-ref@kt.rim.or.jp

Abstract

Descriptions on topics concerning radiation and nuclear energy in textbooks currently used in junior and senior high schools in Japan have been examined and summarized. As for the textbooks used in junior high schools, both in science studies and in social (geography/society) studies, the description is unsatisfactory for the reviewers in the following points: the space describing the radiation and nuclear-related problems has become considerably reduced than before, and as a general tendency the demerits of nuclear-related matters are stressed than the merits, while the renewable energies are much more favorably treated than the actual role. As for the textbooks of senior high schools on science studies written based on the new education guidelines, the present reviewers acknowledge the description has considerably been improved than before. However, as for those in the fields of social studies, geography/history, etc., the situation is similar to the cases of junior high schools described above. That is, the description on radiation and nuclear-related matters are generally not sufficient, and incorrect or unfair views on the value of nuclear energy are sometimes seen, in such a manner that the demerits of nuclear energy production or anxiety for radiation/radioactivity and for waste disposal are treated in much space than the merits, in special reference to the cases of nuclear accidents.

1. はじめに

われわれ放射線教育フォーラムは、10年前に設立されたが、その当時から、教科書における原子力・放射線関係の記述に関心をもった。そして、主に高等学校で使用されている理科のみならずあらゆる科目のできるだけ多くの教科書について調査し、その結果を学会等でたびたび報告した。そして1998年と2000年にそれぞれ著書(1)、ならびに論文(2)として公表した。これらの調査により判明したことは、当初、理科の教科書においてさえ明らかに不正確な記述があったがこの10年の間にかなり改善されたこと、しかし理科以外の一般社会などの文系の科目においては、原子力・放射線に関する記述において、専門家の考え方とは離れた、妥当とは思われない記述が依然として少なくない傾向がみられていることであった。

この報告では、最近の数年間に発行された教科書について、とくに最近の高等学校の学

学習指導要領の改定(3)により理科に「理科総合 A」などの新しい科目が生まれたので、それらの科目と最近発行され検定が終わった教科書について、また従来から原子力・放射線に対して批判的色彩の強かった「一般社会」、「政治・経済」など文系の科目の教科書における記述の妥当性に注目して報告する。また中学校の最近の理科及び社会の教科書について要約して報告する。なお、最近の教科書では、賛成・反対の両方の意見を併記して、いわゆるディベート方式で生徒の自発的理解をもとめる方法の採用という新しい傾向が見られる。(以下、太字は学習指導要領から、イタリックは教科書からの引用である。)

2. 高等学校の理科の教科書

2.1. 「理科基礎」

学習指導要領でこの新規の科目に関する、原子力や放射線に関する特定の言及はなく、ここで教えるべき内容に「エネルギーの考え方の形成」また「科学の課題とこれからの人間生活」の項目があり、後者では物質とエネルギー、生命と環境などの分野から社会における科学に関連した話題を取り上げて、身近な人間生活とのかかわりについて平易に扱うこと、となっている。2社から3種の教科書が発行され、2003年度から使用されている。

T 書籍のものは原子力発電についてかなりのスペースが割かれ、比較的適切に書かれている。ただし、「原子力の利用が重大な危険をはらむものであることを示す事故は、日本においても発生した(1999年9月)」とある。しかしこの(JCO)事故は、開発中の特殊な燃料の製造中に、明らかに当事者の重大な規則違反によって生じたものであるから、これが経常的な原子力の利用に本質的に関連しているような印象を与える記述は好ましくない。

D 図書のものは原子力に関する記述がほとんどない。

この「理科基礎」は必修科目の一つとなっているのであるから、学習指導要領においてもっと明確にエネルギーやエネルギー問題に関連して原子力の役割に関する基礎的知識を教えるようにとの指示がされ、どの出版社の教科書を採用してもその学習ができることが望ましい。

2.2. 「理科総合 A」

学習指導要領ではこの科目で教えるべき内容として、「資源・エネルギーと人間生活」で、「人間生活にかかわりの深い化石燃料、原子力、水力、太陽光などの利用の際見られる現象は、エネルギーという共通概念でとらえられえんことを理解させる。」そして「エネルギー資源の利用」で「蓄積型の化石燃料と原子力及び非蓄積型の水力、太陽エネルギーなどの特性や有限性及びその利用などについて理解させる」、となっている。そして「内容の取り扱い」で「原子力に関連して、天然放射性元素の存在や α 線、 β 線、 γ 線の性質にも触れること」、となっている。また『学習指導要領解説』(4)では「核分裂の連鎖反応による熱が発電に利用される点を火力発電との対比で簡単に示し、エネルギー資源としてはいずれも有限であることを扱う。その際、臨界にもごく簡単に触れる。環境への配慮については、例えば、化石燃料が温室効果をもたらす二酸化炭素の発生への対応や、原子力発電の安全対策や放射性廃棄物の管理にも触れる。」となっている。

7社から発行されて検定済の7種の教科書を調査したが、いずれも原子力発電の基礎的原理や放射線の単位、利用などについて、かなりの紙面を割いて概してほぼ適切に書かれている。ここで記載されている内容が「必修課目」として多くの生徒に十分理解されるこ

とはたいへん好ましい。以下、3社のものについて、一部は細部にわたるが論評する。

S社の、「放射線が何か自然と離れた、実体のない特殊なものであると思っている人が多い。放射線は実体をもち、身边にもつねに存在することを理解しよう。」はよい記述の例である。

T書籍「理科総合A システムとしてみる自然」で、「原子力発電では、ウランの原子核に中性子をあてて核分裂をおこさせ、この際に放出され熱となって取り出される大きなエネルギーを用いて発電させる。」は結果として事実ではあるが、この過程は、核分裂の直後ただちに大量の熱エネルギーが出るのではなく、(核分裂の前後の質量差に相当する、1回の核分裂につき約200MeVに達する)核エネルギーが、まず核分裂生成物の原子の運動エネルギーとなり、これらの原子が近傍のほかの原子と衝突を繰り返し、その結果多くの原子や分子の熱運動となってその部分が高い温度になるのである。従って、この教科書(82ページの図2)の「原子力エネルギー」の説明で、4個の粒子(核分裂生成物の中性子それぞれ2個)が4方向に飛び跳ねるほかに、「エネルギー」という矢印が2方向に放出される図になっているが、これは正しくない。

そのほかの箇所で、「ウランの原子核は、中性子を吸収すると2つに分裂する。」は、割合は少ないが3つに分裂することがあるので、厳密には正確ではない。「通常2つに分裂する。」が正しい。また原子力発電の制御で、「制御棒によって核分裂の速度を制御する。」は、制御棒について、研究用原子炉ではこの通りであるが、BWR型やPWR型の発電炉では運転中の原子炉の制御は制御棒でなく、循環水の流量制御とか循環水中にホウ酸などの中性子を吸収する物質を含ませておきその濃度の調節による。従って、「制御棒などによって」としてはどうか。また制御するのは正確には原子炉炉心部の中性子の濃度、あるいは単位時間中に起こる核分裂の頻度であるから「核分裂の速度を制御する」とはわずに「核分裂を制御する」だけのほうがよいのではないか。

K館のもの「理科総合A ー物質とエネルギーを探究しよう」については以下の通り。

「エネルギーの移り変わりと保存」のところで、「エネルギーの総量は保存されるが、利用可能なエネルギーの量は徐々に減少してゆく。」との記述、エネルギー消費に関するいくつかの図(「一人当たりのエネルギー消費と世界人口の変化」、「世界で1年間に使用するエネルギー資源の変化」、「日本で1年間に使用するエネルギー資源の割合」など)は適切である。また核分裂の説明のところで、「分裂した核などの運動エネルギーは熱エネルギーになる。」の説明、放射能と原子力発電に関する記述、「原子力発電では二酸化炭素を殆ど発生させない。」との記述、自然放射線の存在が数値を入れて記載されていること、放射線の種々の分野での利用や障害について触れている囲み記事(放射線と人間)、核燃料サイクルのことや高レベル及び低レベルの放射性廃棄物処理にも触れて解説してあるなど、原子力に関する種々の基礎的知識が良く説明されている点で高く評価される。

ただし、放射線障害の説明で、「急性障害が起こらない量の放射線でも、後になってからのがんや遺伝的障害が、浴びた放射線の量に応じて、わずかに増えると考えられている。」は、現在の放射線防護の法律体系がこのような考え方が基本になっているのでこの記述はやむを得ないが、この考え方に合致しない最近の低レベルの放射線影響に関する知見が早く公に認められて、もっと真実に近い記述がされるようになることを著者は切に望む。同じ意味で、「放射線はなぜ人体に危険なのだろうか・・・」は、「放射線は、なぜ場合によ

っては危険であることがあるのか。」という質問とし、放射線の大量はたしかに危険であるが、天然に存在する程度の少量であれば危険度は高くないことを教えねばならない。

2.3 「物理 II」 (平成 16 年度から使用されているもの)

(1) K 館のもの

「放射線の利用と人体への影響」について、6 ページにわたり説明がある。その中で、「・・・発ガンと遺伝的影響は、今のところ、これ以下なら影響が全くないといえる安全量の存在が確認されていない。」との記述があるが、現在、ある量以下なら影響がないとする線量(いわゆるしきい値)について、存在すると考えるのが正しいという報告がでつつあり、全くないと断定することへの疑問が強まっている。したがって、「・・・安全量の存在についてはなお研究の段階である。」などの表現にするべきである。また、「放射線被曝によって発ガンし死亡するリスクは、国際放射線防護委員会によると、1 mSv あたり 2 万人に 1 人と見積もられている。」については、他の教科書にも記述があるが、この数値の考え方に大きな疑問がでており、数値として取り上げるこの記述については再考の必要がある。「実験 1」として、「霧箱の製作と放射線の観察」について、原理、準備、方法について、詳細な説明があるのは良い。

(2) S 出版のもの

「放射線とその性質」(8 ページ)で、「放射能と放射線の測定単位」、「放射線による障害」の見出しで解説がある。「・・・放射線の人体への影響は複雑で、被曝量と障害との関係、障害の内容、放射線の種類による違いなどについて、一律に、簡単に述べることはできない。しかし、大まかに言うと、放射線による生物の組織や器官への影響は、皮膚に近いところや細胞分裂のさかんなところほど大きい。骨髄・リンパ節などの造血器官、生殖腺などが影響を受けやすいのはこのためである。」について、放射線の生物への影響の表現は容易ではないので、この文は「組織や器官への影響は、一般的に言って・・・」「細胞分裂のさかんなところほど、顕著である。」のように少し加筆(または修正)が必要であろう。またこの内容は、説明の仕方が重要である。

(3) J 出版のもの

放射線(7 ページ)については「放射線と放射能」、「原子核の崩壊」、「半減期」、「放射線の作用と測定」「放射能・放射線量の単位」、「放射線・放射性同位体の利用」、「放射線の人体に対する影響」について、また核分裂と核反応(4 ページ)については「原子核反応」、「核分裂と原子炉」の項目で記述がある。この中で「放射線を受けた細胞は、損傷が軽微ならば修復できるが、多量の放射線をうけ、損傷がおおきくなると放射線障害を起こす。一般に、細胞分裂が盛んな、胎児や幼児、造血器官や消化器、生殖腺、皮膚などは影響を受けやすい。」は、前半が細胞、後半は個体もしくは臓器のことを言っているので、「・・・皮膚などの細胞は影響を受けやすい。」のように修正したほうがよい。

(4) S 堂のもの

「原子核」、「放射線の利用と原子力」の見出しでそれぞれ 7 ページ、4 ページにわたり記述がある。「短期被ばくでは、2～3 Sv が致死量といわれている。」は短期的被ばくで 2～3 Sv が致死量とは低すぎる。6～10 Sv と思うので、そのように修正すべきである。なお、「短期被ばく」は「短期的被ばく」または「瞬間的な被ばく」とする。

「白血病、発癌など確率的な影響は、10mSv につき、100 万人あたり、100 人の癌死増に

なるといわれる。」これは前述のように、低レベルの放射線影響の考え方、とくに同じ線量でも短期的な被ばくと長期的被ばくによる影響との相違（線量率効果）について知見がえられつつあり、近いうちに修正されるはずである。

「高速増殖炉は、技術的な困難を今のところ克服できていない。」については、高速炉は基本的に可能であり、困難は克服されている。ただし高速増殖炉は実用的にいろいろ困難な点はある。しかしこの表現は誤りである。

(5) D 社のもの

「わが国の法律では、一般の人の被曝線量の限度は、自然放射線と人工放射線を合わせて、年間5ミリシーベルト（mSv）とされている」については、線量限度には自然放射線が含まれていない。「一般人について、人工放射線について年間（5ではなく）1mSvとされている。」とするべきである。

(6) D 図書のもの

「細胞には修復機能があり、自然放射線を浴びた程度ではまったく問題がないことが知られている。」この記述はよい。「放射線の防御」に関して、「・・・必要以上の被曝はさけるべきである。法律では、一般人が自然放射線と医療行為以外で浴びる放射線量は年間1 mSv 以下に規制されている。医療の現場などでも、被ばくを最小限におさえるため、①放射線を鉛などで遮る、②放射線源と距離を置く、③放射線を浴びる時間を短くする、④サーベイメーターやフィルムバッジなどによって、放射線の量を常に監視する、などの注意が払われている。」の記述について、（「フィルムバッジ」でなく「フィルムバッジ」である）放射線被ばくを少なくするための基本的な考え方が書かれているのでたいへん結構であるが、医療行為による患者の被ばくについては現在のところ法規による規制の対象外であり、上記の記述は医療従事者についてであるので、「・・・医療の現場などでも、医師・看護師等の従事者については、被ばくを・・・」のような文章を挿入するのが正しい。

(7) T 図書のもの

放射能と放射線の単位について、「放射能の強さは、放射性原子核の個数と、その半減期で決められる。同数の放射性原子核の個数がある場合は、半減期が短いほど放射能が強い。」これは正しい。

3. 現行の高校の理科以外の（社会・政治経済・地理・など）教科書

3.1 学習指導要領における（エネルギー・環境・原子力・放射線に関しての）指示

地理歴史では、「世界史 A」で「原子力の利用、情報科学、宇宙科学の出現など科学技術の人類への寄与と課題を追求させ・・・」、「世界史 B」では「核兵器問題、・・・を歴史的観点から・・・」、「地理 A」では「環境、資源・エネルギー、人口、食料および居住・都市問題を地球的及び地理的視野から追及し・・・」、「地理 B」では「環境、エネルギー問題の地域性を・・・」となっている。

公民では、「現代社会」で「地球環境問題、資源・エネルギー問題、科学技術の発達と生命の問題、・・・などから、地域や学校、生徒の実態に応じて、二つ程度を選択して取り上げ主体的に課題を追求させるよう工夫すること」、「政治・経済」では「地球環境問題、核兵器と軍縮、・・・などについて、政治と経済とを関連させて考察する。」となっている。

保健体育では、「保健」で「人間の生活や産業活動は、自然環境を汚染し健康に影響を及

ばすこともあること。このため、種々の対策がとられていること」となっている。

3.2 記述の一般的現状

これらの科目の教科書では、以前よりは改善の跡が見えるが、エネルギー供給における原子力の役割について評価を与える一方で、その安全性について不安や誤解を与えかねない表現がしばしば見られる。本章では、その実情を読者に知っていただくため、また紙数の関係で不適切と考えられる代表的な記述の箇所を（解説はほとんど省略して）列挙するだけとし、後の章（5章）において、その代表的な半ばパターン化した文言について著者らが改善が望ましいとする考え方を述べる。

3.3 不適切であるとする記述の実例

「原子力利用による放射能汚染も公害の一種である。」「原子力発電にはさまざまな問題が残されており、燃料となるウラン鉱も有限で、その分布は偏っている。」（J出版「現代社会新訂版」）

「原子力発電は原子炉の安全性や核分裂により生ずる「死の灰」の処理など、他の代替エネルギーにはない問題点が指摘されている。放射能の毒性を解決する技術的方法は確立されておらず、周囲に放射能が漏れないような半永久的な管理が必要になる。」「今回の(JCO)事故で、プルトニウム利用計画の抜本的見直しが迫られている。」（H出版「新版現代社会」）

「原子力発電は石油・石炭などを原料にする火力発電に比べて、ごく少量の原料で大きなエネルギーを生み出す。しかし課題も山積みしている。一つには、チェルノブイリ原子力発電所事故に代表される発電の過程における放射能漏れなどの問題、二つ目には、発電で生じる低レベル放射性廃棄物の安全な管理・保管の問題がある。さらに、使用済み核燃料のなかでも再利用できるプルトニウムと燃え残りのウランをとりだす再処理の際に発生する高レベル放射性廃棄物の問題もある。」「原子力発電は、少量の核燃料で大量のエネルギーを得られるが、放射性汚染の恐れをぬぐい去ることはできずにいる。」「高速増殖炉で生じた使用済み核燃料は放射能が強い。」「新エネルギーには、太陽光・太陽熱・風力・潮汐・波力・地熱などがあり、その多くは無限エネルギーである。」（これでは新エネルギーに期待を持たせすぎる感じがする。）（以上D学習社「現代社会」）

チェルノブイリ原発事故について「1995年に国際連合がまとめた報告書は、事故後の復旧作業にたずさわった約80万人の人々にガン発症の危険があり、現在も放射能汚染地区に700万人以上が居住を余儀なくされていて、そのうち約7割の住民が発ガンの恐怖などで精神的障害に悩んでいる。」原子力発電の得失で、「原発事故は、その危険性はきわめて大きい。また、原発事故にともなって出る放射性廃棄物の処理や耐用年数を経過した原子炉の解体などにおいて、十分な安全性が確立されていないとする論議もある。」（以上T出版社「現代社会」）

「チェルノブイリ事故のような放射能汚染は、国内の被爆問題だけではなく、地球全体の環境汚染問題である。」「原子力発電は、放射能汚染や廃棄物処理など、解決すべき問題がのこされている。」「原子力は、地球温暖化の原因となる炭酸ガスの発生もなく、実用化が進んでいるが、放射性廃棄物の処理方法は確立されておらず、危険な事故が頻発している。」（D学習社「政治・経済」）

「イタリアやスウェーデンなどでは、住民投票をおこなって国民の意思を問い、原発の縮小にむけてすすみはじめた。ただし、スウェーデンでは、1991年に原発廃止延期を決定し

た。ドイツでは、2000年に19基ある原発を稼動32年で全廃することが決められた。これにより、2020年代はじめまでに原発が全廃される見通しとなった。」(J出版「政治・経済新訂版」)

「原爆症で死ぬ人もあとをたたない。」「旧ソ連のウクライナ共和国のチェルノブイリ原子力発電所の重大事故(1986年4月、放射能被ばくで死者約300人)からもわかるように、放射能漏れの不安がつきまとい、さらに放射性廃棄物などの問題もあるので、日本を含む多くの国で、原発の推進に反対する動きが見られる。」(死者300人はどこからの数字だろうか。誇張である。)
 「環境に影響を及ぼさない自然エネルギーの開発が期待されている。太陽光・地熱・風力・波力などの発電がその例で、いずれも燃料費はただで、ほぼ永久的に供給されるエネルギーである。なかでも太陽光・地熱の発電開発が注目されている。」(K書店「新政治経済」)(燃料費は無料かもしれないが、設備費もかかり、容量・効率のことも考慮しなければならない。)

4. 現行の中学の教科書の記述について

4.1 中学校学習指導要領(5)の指示について

理科分野では、「科学技術と人間」の項目で、「エネルギー資源の利用と環境保全との関連や科学技術と人間生活とのかかわりについて認識を深めるとともに、日常生活と関連付けて科学的に考える態度を養う。」「ア エネルギー資源」で「人間が利用しているエネルギーには水力、火力、原子力など様々なものがあることを知るとともに、エネルギーの有効な利用が大切であることを認識する。」となっている。

社会科地理的分野では、「資源や産業から見た日本の地理的特徴」という項目で、「世界的視野から見て、日本はエネルギー資源や鉱物資源に恵まれていない国であること、土地が高度に利用されていること、産業のさかんな国であることといった特色を理解させるとともに、国内では地域の環境条件を生かした多様な産業地域がみられること、環境やエネルギーに関する課題などを抱えていることを大観させる。」となっている。

社会科公民的分野では「世界平和と人類の福祉の増大」という項目で、「・・・核兵器の脅威に注目させ、戦争を防止し、・・・人類の福祉の増大を図り、よりよい社会を築いていくために解決すべき課題として、地球環境、資源・エネルギー問題などについて考えさせる。」と書かれている。またこの部分について、学習指導要領解説(6)では、

「資源・エネルギー問題においては、資源・エネルギーの有効な開発・利用や新しいエネルギー開発とその利用とともに、資源循環型社会への転換を図るための省資源、省エネルギー及びリサイクルなどの必要性に気付かせる。そして、人類の将来にわたる発展と自然との調和を図るために、持続可能な開発を推進することの重要性について理解させながら、地球環境の保全と資源・エネルギーの開発・利用を進めていくことについて考えさせることを意味している。その際、課題学習を取り入れ、・・・「世界的な視野と地域的な視点」に立って、地球環境や資源・エネルギー問題について追求させるなど・・・」と説明されている。

4.2 中学理科教科書の記述における一般的傾向

- ① 水力・火力・原子力による発電のしくみの説明と図がどの教科書にも見られることは良い。

- ② しかしこれらの在来の方法による短所は書かれているが、新エネルギーの短所があまり書かれていず、これらに過剰の期待を抱かせる傾向がある。
- ③ 自然放射線の存在や、放射線が有効に利用されている記述が少ない。放射線の説明があまりなく、その危険性のみを教えている。

4.3 中学社会科（地理的分野・公民的分野に共通して）教科書における傾向

- ① 原子力関係の記述が減少している。
- ② 「チェルノブイリ事故による放射能汚染により、今でも多くの人々が苦しんでいる」、「発電所や関連施設の安全性と放射性廃棄物の保管などに問題がある」、「放射能はあらゆる生物にとって、その生存をおびやかすような危険性がある。」(K 出版「社会」) など原子力や放射線に不安を抱かせる記述が目立つ。
- ③ 「原子力発電は安全性について問題がある。いったん事故が起これば、被害は取り返しのつかない深刻なものとなる。・・・」(K 出版、「公民」) のように、原子力の欠点に強調が見られ、原子力を廃止して、すべて新エネルギーにすべきであるような論調が見られる。

5. 教科書（高等学校・中学校）における不適切な記述について

以上見て来たように、理科以外の「一般社会」などの文系の科目では、依然として不適切あるいは説明不十分な記述が多く見られる。一般的に高校・中学の教科書に共通して原子力に関する記述について批判されるべき、あるいは問題である点は、

(1) 現在、着実に利用が進んでいるものと、いつ実用化が可能になるかわからないエネルギー源を同一に扱っていることが多いこと。現在消費されているエネルギー全体の中で自然エネルギーが占める数値（これは現在わずか 1 % である）が示されていないので、自然エネルギーだけですべてを代替できるような錯覚を与える。

(2) 「原子力に関する危険な事故が頻発」という表現は、どの程度のレベルで、どの程度の頻度の事故をさしているのか曖昧で、読者の不安をあおる表現になっている。

(3) 放射線の影響に関して、量的な記述なしに危険である、という印象を与える記述は望ましくない。しかし、量的な記述をしたくても、また「物理 II」でされているが、専門家の間でその数値に統一見解がないのが現状である。

以下、不適切な記述の具体的事例と不適切であるとする理由を簡単に説明する。

(1) 「原子力は人体に有害な放射能を大量に発生させる。」(T 書籍「現代社会」)、「放射性物質は極めて有毒なため、処理が難しい。」(T 書院「地理 B」) —— (放射能が有害あるいは有毒かどうかは数量に依存するので、一概に決め付ける記述は正確ではない。)

(2) 「放射性廃棄物は環境汚染の原因となっている」(T 書籍「政治・経済」)、「放射能は、あらゆる生物にとって、その生存を脅かすような影響をあたえる。」(K 出版、中学『地理』) —— (そもそも環境には天然の放射性物質が存在するので、人間は常時その影響に順応しており、それに少し人工の放射性物質が加わっても実質的に問題はない。)

(3) 「原子力発電所の安全は完全ではない。」(J 出版「現代社会」) —— (トラブルの発生はゼロではないが、すべての技術において 100% 安全というのはありえない。)

(4) 「放射性廃棄物の処理方法は確立されていない。」(S 出版「政治・経済」) —— 専門家によれば処理方法は確立されている。

(5)「チェルノブイリ原子力発電所の事故の影響は、ヨーロッパの全域にまで及び、なお将来にわたって深刻な事態が続くと予想されている。」(T 出版社「現代社会」)——(事故の直後に全ヨーロッパに降下した放射性物質は、一部の地域を除きその放射能は消滅している。)

(6)「世界では、脱原発の方向が強まっている。」(T 書籍「日本史 A」)——(その動きがあった一部の国ではその後見直しが行われている。一方積極的に導入しようとする国もある。原子力以外の代替エネルギーの実現可能性等を考慮すると、簡単にいい切れない。)

(6)「原爆の放射能による後遺症により死ぬ人があとをたたない。」(K 書店「政治・経済」)——(原爆投下後約 60 年を経過した現在、被ばく者と一般市民の寿命とを比較したところ、統計的に原爆被災者の方が短命であるとの結果になっていない。また死亡原因が原爆によるとの科学的証明ができない。)

(7)「原子力関連施設に対する軍事攻撃を受けた場合、通常兵器によるものでも核戦争なみの放射能被害が生じる。」(Y 出版「現代社会」1998 年発行)——(これは航空機落下の場合にも当てはまるが、原子力発電所が外部から炉心部分に達する破壊があったとしてもそれは臨界状態から遠い方向になるので連鎖反応が止まる。被害は局部的である。)

そのほか、「原子炉からの放射能漏れは少しでもあってはならない。」という考え方は、上記(2)の説明で、シビアに考えるべき問題ではない。

6. 終わりに——いかに改善するか

現在の教科書の執筆者に原子力・放射線関係の専門家が殆ど加わっていないことが現状をもたらしている原因であろう。専門家は、教科書の不適切な記述について、もっと積極的に著者・出版者・文部科学省に指摘を行うべきである。

しかし、それ以前の問題として、今の学習指導要領による原子力や放射線関係の事柄を教える指示は、各科目について、また中学と高校、また理科と社会科の守備範囲などにおいて果たして適切かどうかという基本的問題がある。小学校でも放射線に関する極めて基本的な知識は教えるべきであるとの意見を聞く。また、ここでも指摘した「理科総合」の場合のように、教科書出版社によって、原子力関係の記述がある教科書ではかなり詳しく、いっぽう別の教科書ではまったくない、と言うような状況は、とくに必修科目においては望ましくない。これは教科書検定官への注文である。さらに、「物理 II」の科目における原子核・原子力・放射線に関する事項の位置づけの問題がある。理科のこの科目で詳しくまたかなりの正確さを持って教科書でも取り扱われているにも拘わらず、この項目が、この科目の中で他の一つの項目(原子・分子・熱力学関係)と並んで、学習にあたってはいずれかを選択してもよい、となっていて、教育関係の学会からも大学入試の問題から除外せよとの要望が出ていることである。

ここで一つの問題提起をする。それは、「総合的な学習の時間」ができたが、これをエネルギー・環境・原子力の教育にいかに関活用すべきかということである。現在は、この科目設立の趣旨に添った教育運営が必ずしも十分に行われていないように思える。この際、「総合学習」の時間を減らしてもよいから、「資源・エネルギー・環境問題」というような新しい科目を新設し、この中に放射線・原子力関係の基本的事項(自然科学の対象だけでなく社会との関連についての価値判断的問題を含める)を取り入れて、ここでは、専門家の手が入

った標準的な教科書を作り、授業では、理科と社会科の教員が必ず協同してその内容を分担して指導にあたることにするなどはいかなるものであろうか。

(謝辞 本報告書を執筆するにあたり、最近の教科書について資料を提供され、あるいは資料の閲覧についてご便宜を賜った電気事業連合会広報部、科学新聞社、日本原子力学会、社会経済生産性本部に感謝する。)

7. 文献

- (1) 松浦辰男・飯利雄一, 「放射線・原子力教育と教科書」 研成社、1998 年 2 月
- (2) 松浦辰男・飯利雄一・高木伸司・関本順子, 「過去 2, 3 年の高等学校の教科書における原子力・放射線関係の記述の傾向」 日本原子力学会誌、43 巻、487-492 (2001)
- (3) 「高等学校学習指導要領」 平成 11 年 3 月
- (4) 「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編」 平成 11 年 12 月
- (5) 「中学校学習指導要領」 平成 10 年 12 月
- (6) 「中学校学習指導要領解説－社会編」 平成 11 年 9 月

5.8 Radiation Education in Medical and Co-medical Schools

医療系教育機関における放射線教育

Sukehiko KOGA

古賀佑彦

Professor Emeritus, Fujita Health University School of Medicine

藤田保健衛生大学名誉教授

4-14-14 Futamuradai, Toyoake City, 4701131 Japan

豊明市二村台 4-14-14, skkoga@msa.biglobe.ne.jp

Abstract

In the medical field, ionizing radiation is very widely in diagnostic and therapeutic procedures. Around 60% of environmental radiation, including natural background and man-made sources of radiation, is caused from medical exposure in Japan. Education of radiation in medical and co-medical schools are mainly aimed to how effectively use the radiation, and the time shared to fundamental physics, biology and safety or protection of radiation is not so much.

はじめに

最近の象徴的な問題として医療ひばくとがんのリスクに関する Lancet 論文¹⁾ 報道後に寄せられた質問がある。それには、緊急被ばく医療を展開しているときに多くの医師を含む医療関係者から出てくる質問や意見、妊娠初期の女性の放射線検査に対する対応策、放射線治療や IVR(インターベンショナルラジオロジー)における放射線障害が問題になった。職業被ばくも医療関係では増加している。Lancet 問題では、日本では医療被ばくが世界でもっとも大きい。とくにCTの普及率は群を抜いて高い。LNT(Linear Non-Threshold)モデルをあてはめて計算すると、日本のがんの3.2%が医療被ばくに由来することをメディアが1面で報道したこともあって、患者だけでなく、医師を含めた医療関係者からの質問が殺到した。

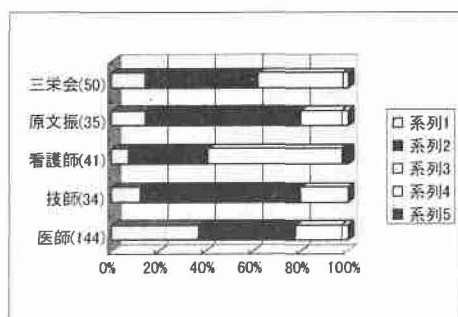
ここで提起された問題を契機に医学系教育機関における放射線教育の問題点について考察を試みよう。

医師、看護師、診療放射線技師の意識と知識に関するアンケート調査

Lancet 後に多かった質問は、X線検査で本当にかんになるのか、何枚まで撮影してよいのか、繰り返して何回くらい検査できるのか、線量限度(許容量と表現する人もまだ多い)は適用されないのか、子供は大丈夫か、妊娠しているときに検査を受けたが大丈夫かという質問が集中した。そこでこれらの質問に、現場で患者と向き合う医師がどのような意識や知識を有しているのかをするために、アンケート調査を行った。対象は東北大1959年卒80名、藤田保健衛生大1979~2003年卒から抽出した500名で郵送法によった。回答は前者45名(56%)、後者99名(20%)であったが、基本的な認識に大きな差はなかったので144名を一括して処理した。また、藤田保健衛生大学病院所属の診療放射線技師34名、看護師41名、原子力・放射線のPAに協力している原文振講師陣35名、一般の方の代表として三栄会(名古屋三井物産ビルの一般職社員)50名も対象にして、講演の中でアンケートをとった。質問に対する回答案を複数用意して回答を求めたものである。

「胸部X線検査でがんになる?」という設問に対して、原文振講師と診療放射線技師の66・68%

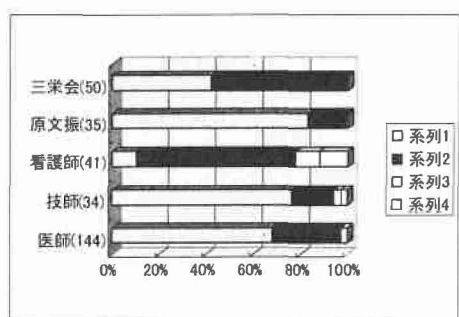
の方々が「計算可能だが無視できる」という回答であったのに対して、医師は 41%であった（図 1）。



2. 計算可能だが無視できる
3 確率がある以上できるだけ避ける
5. 分からない

図1 胸部X線検査でがんになる？

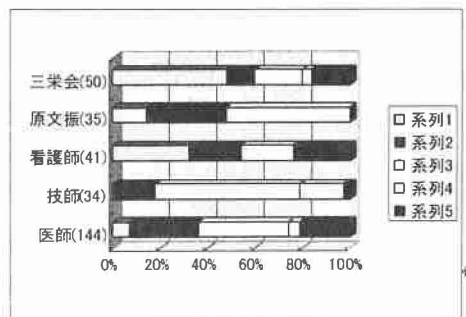
「胸部線検査で遺伝的影響は？」という問いに対しては、看護師の 68%が常に考慮するという回答であるのに対して、原文振、放射線技師、医師ともにその回答は少数であり、無視可能とするものが大半であった（図 2）。



2 常に考慮する
3 その他

図2 胸部X線検査で遺伝的影響は？

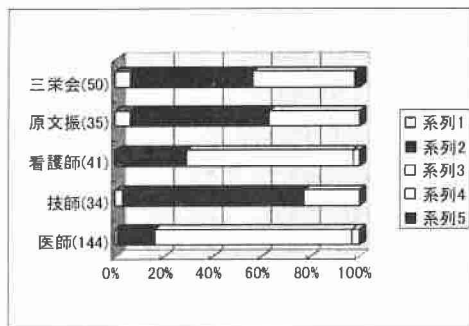
「胸部X線撮影と胸部CTによる被ばく量（実効線量）の比はどのくらい？」という質問では、放射線技師の 61%が約 100 倍という正しい回答であったのに対して、他の職種ではばらつきが多かった（図 3）。この点に関しては Lee, C.I らが米国で行われた同様の調査でも同じ傾向をしめしており、専門医であっても正解率は高くない²⁾。



2. CTは約10倍 3. 約100倍
5. わからない

図3 胸部CT検査による実効線量は胸部単純X線検査のおよそ何倍？

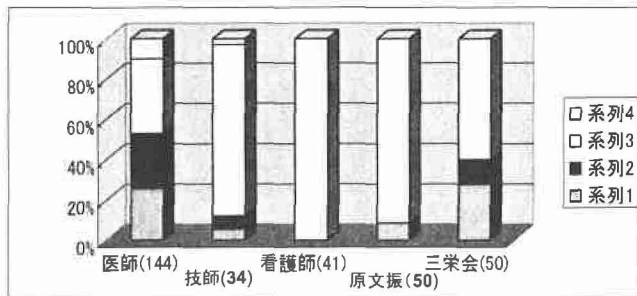
「妊娠初期に知らずに腹部放射線検査をしたらどうしますか？」という問いに対しては、医師は胎児の線量を確認してから考えるという回答が医師の80%と看護師の68%を占めるのに対して、他の職種の場合には中絶を勧めるという回答がもっとも多いものであった。ほとんどの場合には中絶が不要な線量であることが分かっているならば、無用な中絶を避けることができるものである(図5)。



2. 胎児の線量を確認してから考える
3. 専門家の意見を聞く 5. 分からない

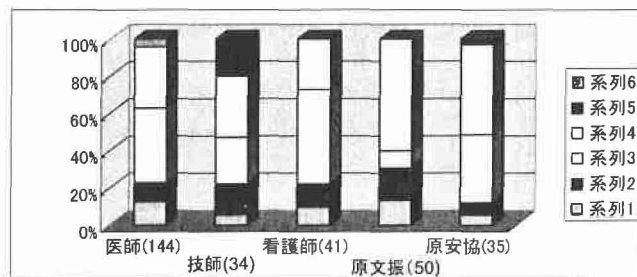
図4 妊娠と知らずに腹部X線検査を受けたとき、中絶を勧めますか？

原発などにおいて放射能汚染がある傷病者が発生したと仮定したとき、そのような患者を病院でどのような対応をとるのかという質問には、看護師、放射線技師、原文振講師の大半が汚染拡大防止措置をとって処置するという回答であったのに対して、医師の約半数は専門医不在で断る、扱いたくないという回答であった(図6)。そのような患者が搬送されてしまったらどうするのかという質問には、医師と看護師の回答には作業者の安全を確保するという回答が多く見られた(図7)。これは感染症対策と同様の感覚をもっているものと思われる。



1. 放射線は有害だから扱いたくない
 2. 放射線は有害だから扱いたくない
 3. 放射線が検出されても職員の被ばくが小さければ、汚染拡大防止措置をとって処置する
 4. その他

図6 放射能汚染傷病者を病院に受け入れますか？



1. まず汚染除去
 2. まず汚染除去
 3. 作業者の安全確保
 4. 必要ならまず救命
 5. 傷病部位の処置
 6. その他

図7 汚染傷病者の処置をしなければならないときどうしますか？

医学教育における放射線の内容および時間数

代表的な放射線医学教科書（医学生向け）の内容を1960年代と2000年始めについて比較した。1960年代に比べて、2000年代では臨床の診断学分野の増加が著しい。相対的に、放射線物理・生物学の基礎的分野の時間数は減少している（図8）。放射線基礎医学講座をもっている大学数はごく僅かである。6年制一環教育の中では、ますます基礎教育の割合は減少している実態がある。医学部の講義においては放射線を用いる診断と治療の医学教育モデル・コア・カリキュラム教育内容ガイドラインには次のように述べている。すなわち、一般目標：放射線診断と治療の基本を学ぶとし、到達目標にはX線、CT、MRIと核医学検査の原理を説明できる、X線（単純、造影）、CT、MRIと核医学検査の読影の原理を説明できる、放射線治療の原理を説明し、主な放射線治療法を列挙できる、放射線診断・治療による副作用と障害を説明できる、

放射線防護を説明できると記載されている。また、放射線造影法を活用した治療法を説明できるとしているが、これは最近の IVR（インターベンショナルラジオロジー）の進歩を反映しているものであろう。

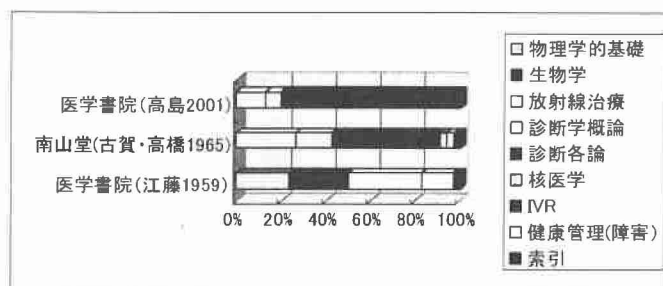
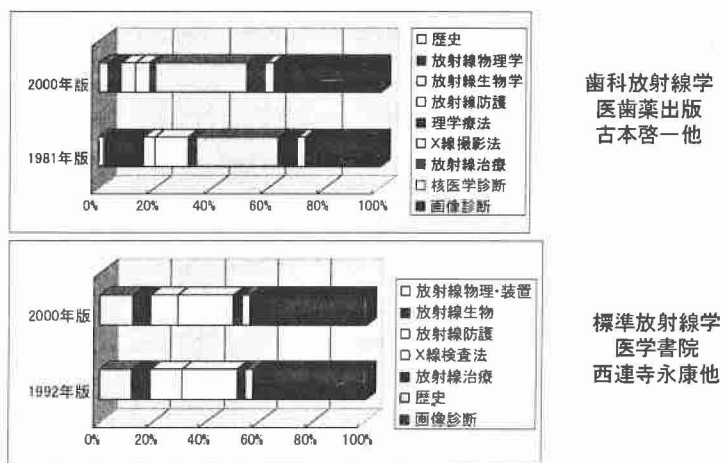


図8 放射線医学教科書（医学部学生用）の内容の変遷

歯科放射線学教科書についても1981年と2000年版を比較すると、放射線物理学と防護に関する頁数が相対的に減少し、画像診断に関する記載が増加している。別の教科書で1992年と2000年版の比較では大きな差は見られない（図9）。



この資料は東京医科歯科大学名誉教授佐々木武仁氏のご提供による

図9 歯科放射線学教科書の変遷

看護師の資格にはいわゆる正看護師と准看護師の2種類があり、教育は、大学、短期大学、3年の専門学校における教育と、准看護師のための教育課程があるが、全体に放射線医学に関する教育時間自体が全講義時間の1%前後であることが小西らの調査で示されているが、この状態は現在でも変化はないが、問題は教育カリキュラムを指示している養成所指定規則の中には放射線診療に関する項目がないためと考える(表1)。日常の臨床の場で、もっともよく患者と接する職種は看護師であり、専門教育に入る以前の高校までの段階における放射線教育の現状をみると、看護師教育の中に放射線に関する内容を強化することが重要である。

表1 看護師教育における放射線の時間³⁾

機関	平均時間数	全講義時間に対する割合(%)
大学	18.3	1.1
短期大学3年	16	1
看護師3年	15.1	0.9
看護師2年	13.4	1
准看護師学校	12.4	2.1
高等衛生看護学科	8.8	1.5

診療放射線技師の教育は養成所指定規則では医師教育や看護師教育とは異なって専門教育の中に十分な教育時間数・単位数が確保されていると言ってよい(表2)。

表2 診療放射線技師養成所指定規則の単位数

基礎分野	科学思考の基礎	14
	人間と生活	
専門基礎分野	人体の構造と機能及び疾病の成り立ち	12
	保険医療福祉における理工学基礎ならびに放射線の科学及び技術	18
専門分野	診療画像技術学	17
	核医学検査技術学	6
	放射線治療技術学	6
	医用画像情報学	6
	放射線安全管理学	4
	臨床実習	10

ICRP Publ.34「X線診断における患者の防護(1983)」⁴⁾では、医学生に教育時間の激しい取り合いがあるので、放射線医や放射線物理学者は、放射線安全を議論したり、説明する短期コースを企画すべきであると述べ、放射線専門医の証明は、放射線診断の適切な使用に関する資格の証拠であり、電離放射線の有害な影響に関する知識なしに放射線医学的処置をしてはならないことを強調しているが、わが国の現状はこの期待に添っていないとは言えないであろう。卒

後の研修医の教育の中で今後の改善が図られることを期待したい。

結語

1. 医師、看護師、診療放射線技師などの医療職種の放射線に関する意識・知識レベルの現状を知ることは、放射線教育の問題を解決に導く第一歩になると考える。
2. 医療関係者の中では診療放射線技師は、放射線に関する知識は当然ながら最も高い。
3. 最近の放射線医学教育では、新しい技術や画像診断領域に関する内容が増加し、放射線の物理的基礎や放射線防護に関する教育時間が相対的に減少している。
4. 患者ともっともよく接する看護師教育に関する問題の重要性も指摘した。

文献

- 1) A.B. de Gonzalez and S.Darby Lancet 2004; 363,354-351
- 2) Lee,C.I et al. Radiology 2004,231:393-398
- 3) 小西恵美子他 看護展望 1988,13,65-73
- 4) ICRP publication 34 X線診断における患者の防護 (訳) 日本アイソトープ協会 丸善 1983

5.9 A collaborative effort of medical and educational facilities for radiation safety training of nurses

医療施設と教育研究用施設の協力による

看護師を対象とした放射線教育の試み

N aoki Matsuda¹, Masahiro Yoshida¹, Hideaki Takao¹, Mamoru Kaneko¹, Yukiko Yamaguchi¹,
Miwa Horikawa¹, Hatsuko Kobayashi², Shin-ichi Goto³, Makoto Ochi⁴, Yutaka Okumura¹
松田尚樹¹、吉田正博¹、高尾秀明¹、金子衛¹、山口幸子¹、堀川美和¹、
小林初子²、後藤紳一³、越智誠⁴、奥村寛¹

¹Center for Frontier Life Sciences, Nagasaki University

²Department of Nursing, Nagasaki University Hospital

³Department of Radiology, Nagasaki University Hospital

⁴Nagasaki Kita Hospital

¹長崎大学先端生命科学研究支援センター・アイソトープリソース開発分野

²長崎大学医学部歯学部附属病院・看護部、³放射線部、⁴長崎北病院

Abstract

The proper understanding of radiation safety by nursing staffs in hospitals are essential not only for radiation protection of themselves against occupational radiation exposure but for quality nursing for patients who receive medical radiation exposure. The education program on radiation in nursing schools in Japan is, however, rather limited, and is insufficient for nurses to acquire basic knowledge of radiation safety and protection. Therefore, the radiation safety training of working nurses is quite important. A hospital-based training needs assignment of radiation technologists and radiologists as instructors, which may result in temporary shortage of these staffs for patients' services. Additionally, the equipments and facilities for radiation training in a hospital might not be satisfactory.

In order to provide an effective education regarding radiation for working nurses, the radiation safety training course has been conducted for nurses of the university hospital by the collaboration of medical and educational staffs in Nagasaki University. This course was given for 6 hours in Radioisotope Research Center, a research and education facility for radiation workers using radioisotopes. The curriculum of this course included basics of radiation, effects of radiation on human health, procedures in clinical settings for radiation protection and practical training by using survey meters, which were mainly based on the radiation safety training for beginners according to the Japanese law concerning radiation safety with a modification to focus

on medical radiation exposure. This course has been given to approximately 25 nurses in a time, and held 13 times in May 2000 through October 2003 for 317 nurses overall.

The pre-instruction questionnaire revealed that 60% of nurses felt fears about radiation when they care patients for radiation diagnosis or therapy, which reduced to less than 15% in the post-instruction surveillance. The course also motivated nurses to give an answer to patients' questions about radiation safety as well as to ask radiologists or technologists when they felt any fears about radiation. In contrast, more than 30% of nurses were aware of neither their exposed dose obtained from a personal dosimeter nor the maximum dose limit of radiation exposure even after the course. These results suggested that medical-educational collaborative training for nurses were effective on reducing nurses' fears about radiation by educating proper knowledge of radiation. In addition, repeated and continuous education would be necessary to establish their practice for radiation protection.

1. 緒言

放射線診療の補助業務を行う看護師は、看護師自身の放射線防護を確実に行って職業被ばくを防ぐとともに、患者の医療被ばくに対する不安を和らげ、患者に対する介助を適切に行わなければならない。また、新たな放射線診断手法の開発と普及に伴い、看護師が放射線診断を受ける患者を介助する機会も今後ますます増加することが予想されることから、看護師に対する放射線教育の必要性は極めて高い¹⁻³⁾。医療施設の中で放射線教育を実施するには、放射線科医師及び放射線技師の協力が必要となるが、限られた職員数および使用機器設備の中で基礎から臨床応用に至る統合的な教育を行うことは現実的には困難が多い。一方、大学における放射線業務従事者教育は、学内の教育研究用放射線施設を中心として基本的に学内で実施されている。そのため、教育研究用放射線施設には教育訓練のための機器設備が整い、教育訓練技法も確立している。そこで我々は、看護師の放射線に関する理解と知識を向上させ、放射線診療補助業務の質の向上を図ることを目的として、学内の医療施設である長崎大学医学部・歯学部附属病院と、教育研究用放射線施設である長崎大学先端生命科学研究支援センターの協力により、附属病院看護部に所属する看護師を対象とした放射線教育を試み、その教育効果について、特に放射線に対する不安の低減と放射線安全管理意識の変化に着目し検討した。

2. 方法

(講習会の概要)

長崎大学医学部・歯学部附属病院看護部に所属する看護師、総数約 400 名を講習会の対象とした。1 回あたり約 25 名の受講者に対して、所要 6 時間の講習会を平成 12 年 5 月から年 4 回ずつ、長崎大学先端生命科学研究支援センター・ア

Table 1. Curriculum of the training course for nurses.

Basics of radiation and radioisotopes	30 min
Effect of radiation on human body	30 min
Medical and occupational exposure	45 min
Safety handling of radiolotopes in medical facilities	25 min
Basics of radiation protection	35 min
Legal regulations	50 min
Short exam	30 min
Practical training*	120 min

* To examine the Effect of "shielding" and "distance" on reduction of radiation dose by using GM survey meter.

イソトープ実験施設において行った。医学部・歯学部附属病院放射線部の医師及び放射線技師と、先端生命科学研究支援センターの教官及び技官が講師を務めた。

講習会の内容は、科学技術庁告示第 10 号に定められた初めて管理区域に立ち入る前に行う教育訓練内容を基本とし、医療施設における安全取扱及び被ばくの注意点等の臨床業務上の具体的な内容を盛り込んだ。教科書としては「放射線の ABC」⁴⁾、及び成書⁵⁻⁷⁾を参考に作成したオリジナルテキストを使用した。講習科目および時間数を Table 1 に示す。

(教育効果の判定)

教育効果の判定は、受講者に対するアンケート調査により行った。受講前調査は 2001 年 7 月より実施し、主として受講者の放射線及び放射線教育に対する意識を調べた。受講後追跡調査は 2003 年 5 月に全受講者に対して行い、受講後の放射線業務状況および放射線業務時の意識の変化、さらに放射線教育に対する意識を調べた。なお、受講前意識調査と受講後追跡調査のデータ間の統計的解析にはカイ二乗検定を用いた。

3. 結果

(受講者数および調査回答数)

2000 年 5 月から 2003 年 10 月までの間に合計 13 回の講習会を実施した。総受講者数は 317 名であった。受講前調査の回答者数は 156 名、全受講者数に対する回答率は 49.2%であった。受講後追跡調査の回答者数は 227 名、全受講者数に対する回答率は 71.6%であった。

(回答者の背景因子)

回答者の年齢分布は、受講前調査、受講後追跡調査ともに 30 才代およびそれ以下が全体の 70%以上を占めた (Fig. 1A)。また放射線診療患者の介護歴のある看護師は、受講前では約 20%であったのに対し、受講後では約 50%まで増加していた。放射線診療介助歴の大半は、X線検査であっ

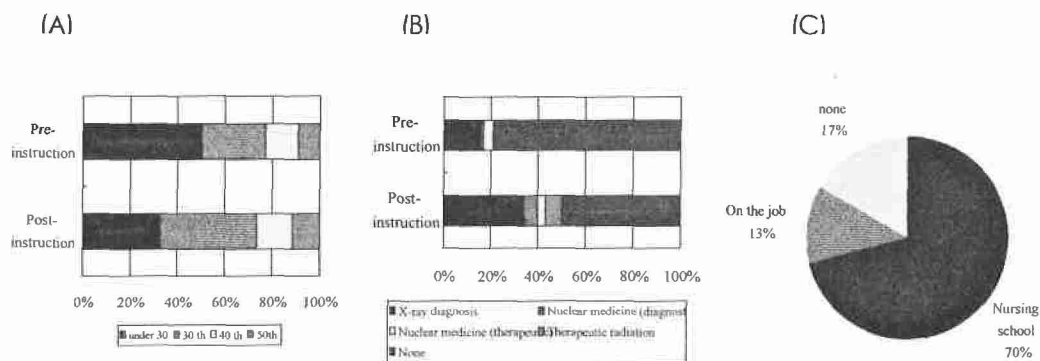


Fig.1 Background of the respondents.

(A) Ages. (B) Experience of radiation work. (C) Experience of radiation education.

た (Fig. 1B)。また、放射線教育歴は、70%の受講者が看護学校時代の教育経験を有していた一方で、17%の受講者は教育歴がなかった (Fig. 1A)。

(放射線に対する意識 - 受講前調査)

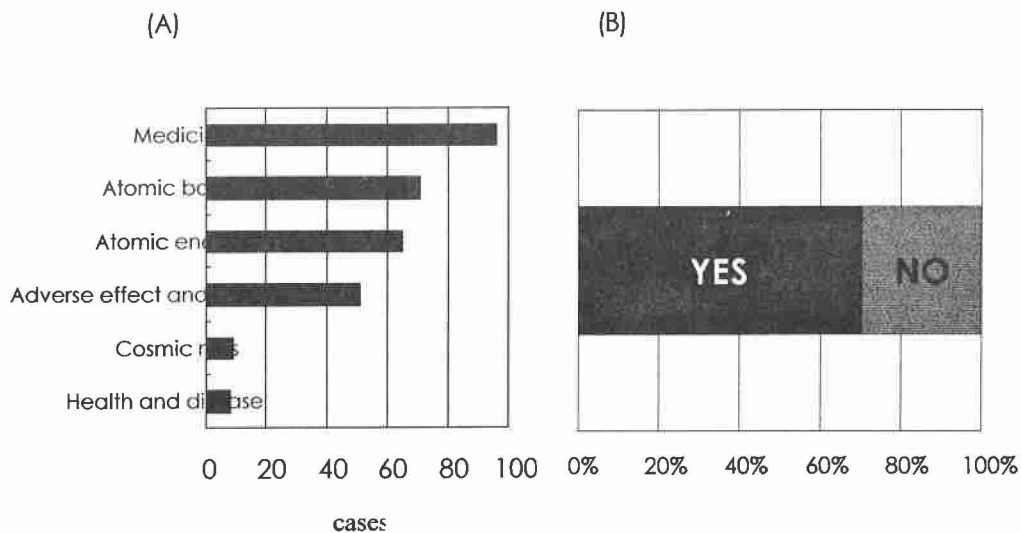


Fig.2 Background of the respondents.

(A) Images from 'radiation'.

(B) Awareness of naturally occurring radiation.

回答者が「放射線」という言葉から思い浮かべることとしては、専門分野である「医学・医療」が最も多かったが、「原爆」、「障害、がん」といった負のイメージを持っている受講生も多く見られた (Fig. 2A)。また、自然放射線に常に被ばくしていることを知っていると感じた者は 70%に留まった (Fig. 2B)。

(放射線に対する不安 - 受講前調査)

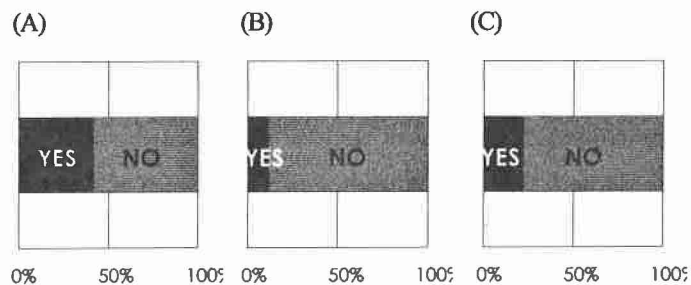


Fig.3 Fears of nurses for radiation.

(A) Fears by X-ray diagnosis.

(B) Fears for sterility by patients care.

(C) Fears for malformation by patients care.

受講前調査の回答者のうち 40%が、自分自身が X線検査を受ける際にもが不安を感じていると答えた (Fig. 3A)。さらに放射線診療の介助業務による不妊、および奇形児の発生について、それぞれ 12%、21%の回答者が可能性ありと回答した

(Fig. 3B, C)。そして、こ

れらを総合して、放射線診療の介助時に何らかの不安があると答えた回答者は全体の約 60%にのぼり、その傾向は放射線教育訓練の有無に関わらずほぼ一定であった (Fig. 4)。

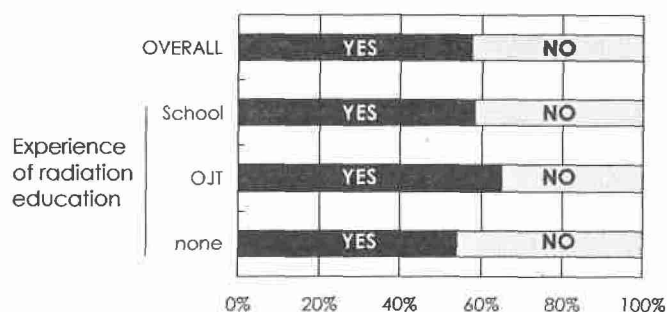


Fig.4 Anxiety of nurses for radiation effect in patients care.

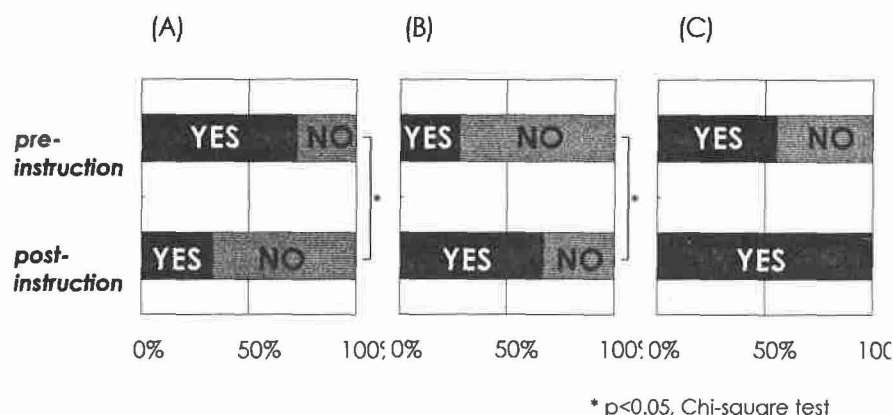


Fig.5 Effect of education on reduction of nurses' fears for radiation.

(A) Anxiety for radiation effect in patients care.

(B) Consulting experience with other medical staffs.

(C) Ability to answer patients' questions.

(放射線教育による不安の低減 - 受講前調査および受講後追跡調査の比較)

放射線診療の介助時の放射線影響に対する不安及びそれに対する対処法が、講習会前後でどのように変化したかを比較した。まず介助時に何らかの不安を感じると答えた回答者は、受講前には約 60%であったものが、受講後では 15%以下にまで有意に減少していた (Fig. 5A)。また不安があった場合に、医師や放射線技師に相談したと答えた回答者も、受講前 28%に対し、受講後では 66%まで有意に増加していた (Fig. 5B)。さらに、患者から放射線診療について質問を受けた際、答えることができた回答者は、受講前では 55%に留まったのに対し、受講後には 100%であった (Fig. 5C)。

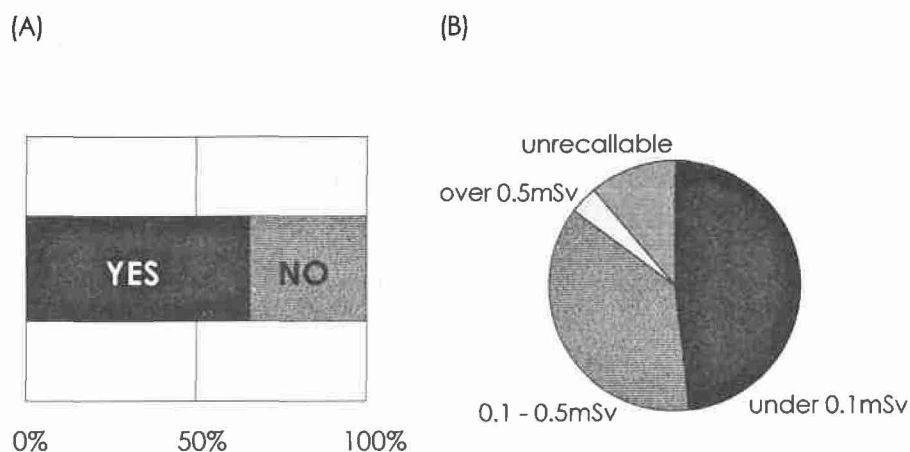


Fig.6 Effect of education on radiation safety management.
 (A) Attention to exposed doses measured by personal dosimeters.
 (B) Glass badge readings.

(放射線防護に対する意識 - 受講後追跡調査)

講習会受講後、放射線業務従事者として登録されている者のうち、ガラスバッジの結果を毎月読んでいると答えた回答者は 65%に留まった (Fig. 6A)。結果の読み値に関しても、11%の者が記憶にないと答えた。0.1mSv 以上の数値を答えた回答者が 41%にものぼったが、著者らが調べた限りではそのような測定結果はでておらず、記憶が曖昧であることがうかがえた (Fig. 6B)。自分自身の放射線業務従事者としての実効線量限度について質問したところ、男性の場合、

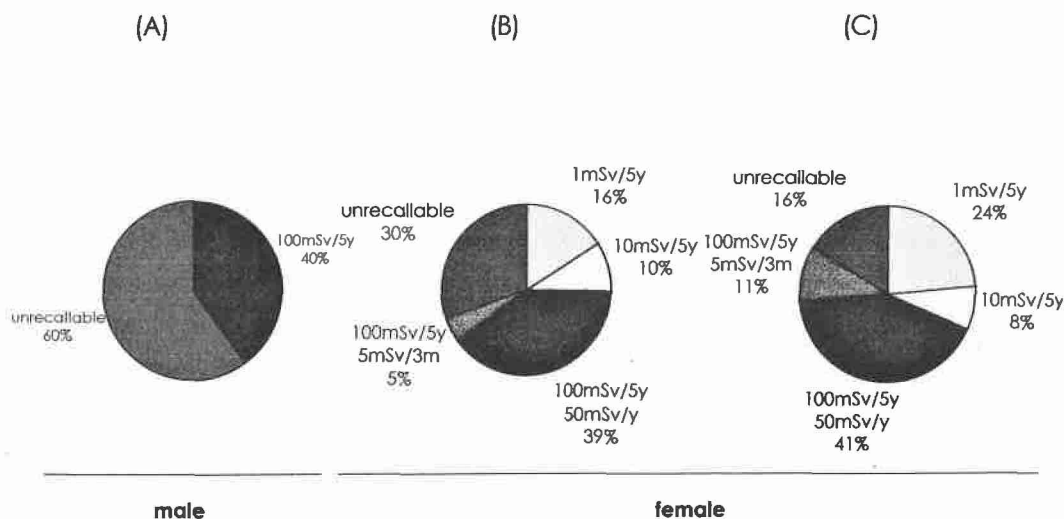


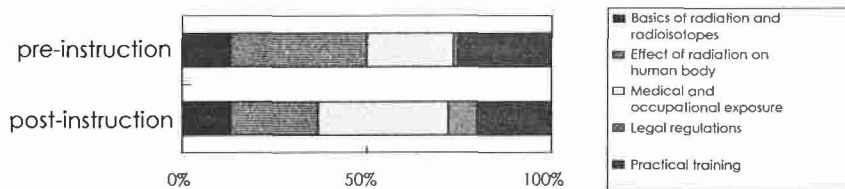
Fig.7 Effect of education on radiation safety management, as evaluated by the memory for the maximum dose limit.

(A) Male. (B) Female (overall). (C) Female issued with glass badges.

100mSv/5年、50mSv/年と正しく回答をした者は全受講者の40%であった (Fig. 7A)。女性の場合は、妊娠の可能性のある看護師については100mSv/5年、5mSv/3月、それ以外は100mSv/5年、50mSv/年という解答になるが、この両者を合わせても全受講者における正答率は44% (=5%+39%)であった (Fig. 7B)。ガラスバッジ配布者のみを対象とした場合にも、正答率は52% (=11%+41%)とわずかに上昇したに留まった (Fig. 7C)。なおデータには示していないが、講習会受講時期と追跡調査時期の間隔が長くなるとともに正答率は減少しており、2002年の受講者では正答率が47%であったのに対して、2000年の受講者の正答率は29%であった。

(受講者による放射線教育の評価)

(A)



(B)

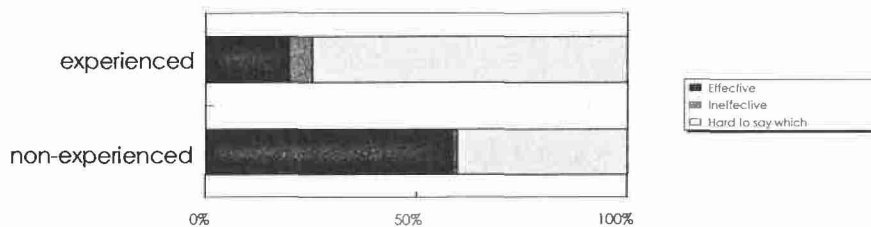


Fig.8 Evaluation of the education course by nurses.

(A) Contents of interest from pre- and post-instruction questionnaire.

(B) Self-diagnosis of the education effect in radiation work-experienced or non-experienced nurses.

講習会の内容の中で、興味のある内容について質問したところ、受講前調査、受講後追跡調査のいずれにおいても、放射線の人体影響、医療被ばく・職業被ばくの注意点、及び安全取扱実習など、健康影響についての講義や放射線測定の実験に興味を示す回答者が多かった (Fig. 8A)。講習会の効果についての自己評価に関しては、60%の放射線業務経験者が業務に役立っていると回答した。 (Fig. 8B)。

今後の教育としては、臨床業務に主眼を置いた応用教育を希望する者が60%以上を占め (Fig. 9)。

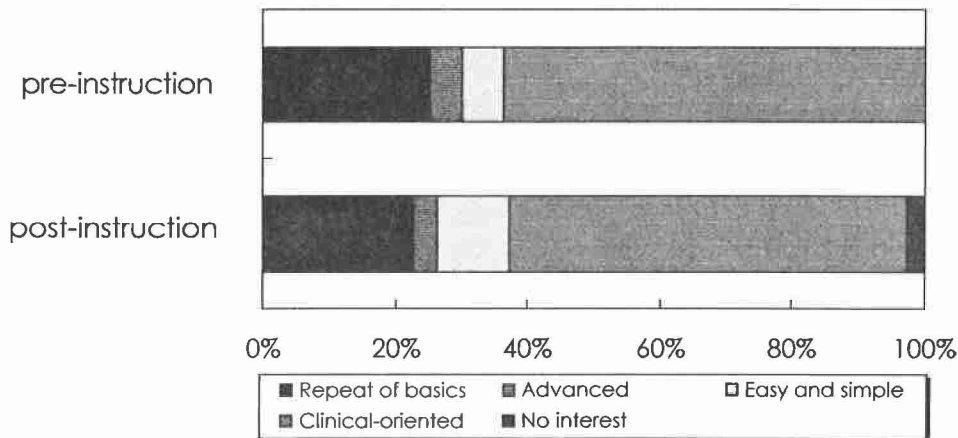


Fig.9 Preferable contents in the refreshers course.

4. 考察

講習会受講前の調査により、放射線教育経験の有無に関わらず、約60%の看護師が職業被ばくに対する不安を感じながら患者の介助を行っていたことが明らかとなった。その結果、医療被ばくに対する患者の不安に対処できないのみならず、患者や家族に対してむしろ不安を助長するような不適切な介助行動に結びつくものと思われる。このことは、看護師に対する従来の放射線に関する教育が、放射線の性質を理解させるに至っていないこと、また、医療現場での業務と直結していないことを示している。我々の試みでは、臨床における職業被ばくおよび医療被ばくの注意点を多く盛り込み、放射線の性質及びその防護方法を現場に即した知識として与えることにより看護師の不安が低減された。さらに実習によって、距離及びしゃへいの放射線減弱に対する効果を受講者は体感した。追跡調査によれば、講習会の中で記憶している科目が「人体影響」、「医療・職業被ばくの注意点」と「実習」であったということからも、受講者がいかに健康影響とその防護法に興味を示して聞いていたかということがうかがえる。現場に即した知識を得た結果、不明な点が生じた場合にも医師や放射線技師に質問する積極性が芽生え、また患者への説明も可能となったものと考えられる。これらの変化は、看護師の放射線診療補助業務の質の向上につながるものであろう。このように、放射線教育は看護師の不安の低減に大きな効果をもたらすことが明らかとなったが、これは欧米における報告^{8,9)}と一致するものである。その一方で、現場に即した教育と実習が効果的であったのに対し、アイソトープの基礎に関しては記憶も少ないようであった。物理、化学を苦手とする受講生も多いことから、細部にわたる説明を行っても効果は少ないかもしれない。また法令に関しては、実際に放射線業務従事者とならなければ、その教育の動機づけが難しいであろう。Feigenbaumら¹⁰⁾は、放射線教育により看護師自身の放射線安全管理意識が向上し、被ばく線量が低減したことを報告している。今回、我々は被ばく線量に関する追跡調査は行っていないが、看護師の放射線安全管理意識については、講習会の効果は一定

のレベルに留まったようである。すなわち、30%以上の受講生はガラスバッジの結果を読んでおらず、結果についての記憶も曖昧であることが見受けられた。さらに実効線量限度を正確に記憶している者も約半数であり、講習会受講後の期間が長ければ長くなるほど線量限度の記憶が曖昧になる傾向もみられた。放射線についての知識のみならず、被ばく線量の実測値をもとに線量限度という物差しを持って安全を保障するという姿勢が、職業被ばくに対する不安の払拭と、医療被ばくに不安を持つ患者や家族への説明力につながる。被ばく線量及び線量限度については、医学部・歯学部附属病院で実施している放射線業務従事者のための再講習会において毎年徹底することや、看護師のための反復教育、またナースステーションにおける掲示等の、注意を喚起するための工夫が必要であろう。

看護師の放射線教育は、本来、看護師が主体となり、病院内で行われることが望ましいであろう。しかし、多忙な臨床業務の時間を割いて、教育のため医師及び放射線技師との協力体制を構築するには困難な点も多い。そのため、コンピュータによる E-learning が試みられつつある¹¹⁾。任意の時間に随時反復的に自習できるという点で E-learning は今後開発すべき一つの方向であろうが、実習によって得られる大きな教育効果を期待することは出来ないであろう。今回は総合大学という特殊な環境のもとに、医療施設と教育研究用放射線施設との協力による看護師教育を行い、その効果を得ることができた。医療施設の側から見れば、放射線診療補助業務の質を高めるため近隣の種々の放射線施設や教育機関との協力体制を確保すること、また放射線施設の側から見れば、専門性を看護師等の医療従事者の教育に生かし地域社会に貢献することが今後求められるのではないかと考えられる。

参考文献

- 1) 小西恵美子：看護師に対する放射線安全教育，FB News, 314, 1-5 (2003).
- 2) 黒田正子：IVRにおける看護婦の役割とその専門性を高める取り組み，Quality Nursing, 7, 1026-1030 (2001).
- 3) 太田勝正：基礎看護教育における放射線防護の教育，Quality Nursing, 7, 1076-1082 (2001).
- 4) 日本アイソトープ協会：“放射線のABC”，丸善（東京），1990.
- 5) 草間朋子：“放射線防護マニュアル”，日本医事新報社（東京），1998.
- 6) “ICRP Publication 84 妊娠と医療放射線”，丸善（東京），2002.
- 7) 館野之男：“放射線と健康”，岩波書店（東京），2001.
- 8) Jankowski, C.B. : Radiation protection for nurses. Regulation and guidelines, J. Nurs. Adm., 22, 30-34 (1992).
- 9) Sticklin, L.A. : Strategies for overcoming nurses' fear of radiation exposure, Cancer Pract., 2, 275-278 (1994).
- 10) Feigenbaum, K., Ellett, M.L., Miller, R. et al. : ALARA study of teaching effectiveness on reducing radiation exposure, Gastroenterol. Nurs., 21, 234-238 (1998).
- 11) Hamilton, D.S., Peck, M.M., Yu, H. et al. : Computer-based radiation safety training for hospital radiation workers, Health Phys., 78, S4-8 (2000)

5.10 Education of Radiochemistry and Radiation Chemistry at a College of Medical Technology

医療専門学校での放射化学と放射線化学

Takeyoshi Asano

朝野 武美

Former Osaka Prefecture University

前大阪府立大学

3-11-18, Onoharanishi, Mino, Osaka, 562-0032 Japan

〒562-0032 箕面市小野原西 3-11-18

Abstract:

The present report aims at introducing my creative textbook on the subject. The contents start from the history of the 20th century on “discovery and use of radiation and radioisotope”. In the study of the history the students can aware of their position in a future profession as a medical radiation worker. In addition, own originality for the textbook was shown in the descriptions of 1) Auger effect of EC decay nuclide used remarkably in nuclear medicine, 2) the relation between isotope, isotone and isobar and the kind of nuclear reactions, 3) the distinction of the use of isotope dilution method in substoichiometry and radioimmunoassay, 4) nuclear reactor chemistry (nuclear fuel cycle and disposal of high level radioactive waste), 5) fundamental constants used in radioisotope techniques and 6) the exposure dose in taking a side view of the radiation chemistry.

A questionnaire survey after the closing the lesson showed that the students took an interest in 60 % of the contents in the textbook of radiochemistry and radiation chemistry.

1. 緒言

放射能・放射線に関する教育は、用語、数値などの断片的な知識教育でなく、他分野の関連した知識も含めた総合的な知識教育が必要である。教師は、学生自身で考えながら勉強ができるように、学生を指導しなければならない。そのような教育によって、学問に対する好奇心や科学的な意識が芽生え、楽しく放射能・放射線に関する勉強をすることができる。また、放射線に対する正しい知識と科学的・合理的な考え方・判断力（ラジエーションリテラシー、Radiation literacy）が育成される。

国の厚生労働大臣または文部科学大臣指定の学校（全国30校）で、3年以上の技師としての必要な知識・技能を修得し、国家試験に合格すれば、診療放射線技師の資格が与えられる。診療放射線技師は、医師の指導のもとにその業務を行い、医療スタッフの一員として診断、治療を助ける、重要な役割も持っている。時には、診療放射線技師は、仕事を通して、社会人に対する正しい放射線教育をすることも重要な役割であり、技術者としてばかりでなく、科学者としての一面も持っていることが望ましい。

国家試験の科目には、基礎医学、放射線生物学・物理学、放射化学、放射線機器工学、R I 検査技術学、放射線治療技術学、X線撮影技術学など、15教科がある。

ここでは、受験対策を考慮しつつ演者が書いた放射化学・放射線化学のテキストの工夫した部分について紹介する。

2. 自作テキストの記述内容における工夫

2. 1. 20世紀の放射能・放射線の発見とその利用の歴史

テキストは20世紀の放射能・放射線の発見と利用の歴史から始まる。学生は、単に与えられた放射性医薬品や放射線を使用するだけでは、将来、優れた診療放射線技師にならない。放射能・放射線の歴史を勉強することにより、診療放射線技師をめざす自分の時代背景を知り、放射能・放射線技術利用の意義を知る。放射能・放射線の発見・発見・利用については、物理学・化学・生物学・医学に関すること、世界と日本の科学者（島津源蔵、村岡範為、長岡半太郎、小川正孝、岡本要八郎、飯盛里安、山田延男、石橋雅義、湯川秀樹、仁科芳雄、P. K. 黒田、鈴木信夫、音在清輝、小柴昌俊等）のこと、政治・社会的なできごとをできるだけ記載した。

2. 1. 1. 放射線・放射能の研究の夜明け

放射線、放射能の発見は、古典的な物理学に新しい物理学が加えられた素晴らしい出きごとの始まりであった。原子（アトム）の構成要素である電子や原子核が発見され、分割できないというギリシャ語に由来する粒子として名付けられた「アトム」の概念が変わった。レントゲン、ベクレル、キュリー夫妻、ラザフォードやソディーらを始めとする先駆者、日本の放射化学者やX線物理学者について記述。

2. 1. 2. サブアトムと原子核研究の始まり

- ・英国キャベンディッシュ研究所の偉人たち
- ・ニュートンの物理学からアインシュタインの物理学へ
- ・サブアトムと原子核研究の進展
- ・核分裂の発見と戦争

20世紀前半、社会は資本主義・帝国主義の時代となり、戦争が続いた。先端科学技術が産業利用にとどまらず軍事力に利用されていった。中性子をウランに衝突させて、ウランよりも重い新元素を作り出そうとしているうちに、核分裂現象を発見した。核分裂が事実とすれば、アインシュタインの理論から、巨大エネルギーが放出されていることが直ちに理解できた。キャベンディッシュ研究所では、多くの科学者（トムソン、ラザフォード、ウイリソン、アストン、チャドウィック、コックロフト、ウォルトン、ワトソン、クリック等）が輩出した。米国・英国において原子爆弾の開発が始まった。アインシュタイン、オッペンハイマー、ノイマン等についても記述。

2. 1. 3. 戦後の原子力平和利用

- ・サブアトムの研究と放射線利用の熟成
- ・近年の放射線・放射能・核エネルギー・サブアトムの研究と利用

戦後、我が国は原子力基本法を制定し、「原子力の研究、開発及び利用は、平和の目的に限り、民主的に運営し、自主的に行い、成果を公開する」と約束した。20世紀の後半は、世界でも原子力の平和利用が大切なものとなった。1991年12月、東西冷戦の時代が終わった。宇

宙の成り立ちや原子核の構造の解明のために、宇宙の研究、巨大加速器や素粒子観測装置による素粒子物理学の研究、超重新元素の研究が進んだ。原子力発電の利用が進み、使用済み燃料の貯蔵問題がでてきた。原子力発電所事故も起こった。生命に関わる事柄として、放射線の健康影響の研究、放射線・放射能の医学利用が進んだ。ハーシー、P. Kazuo. 黒田、ヤロー、ラッケイ等について記述。

2. 1. 4. 放射線・放射能とどの様に向き合うか

20世紀の放射能・放射線の研究は、単なる科学の進歩にとどまらず、人々の生活に大きな影響をもたらしている。21世紀は人口爆発の時代と云われ、世界人口は61億3000万人、環境難民2500万人となった。人類(私たち)が安心して暮らしてゆくことができるように、「放射線・放射能の20世紀」を如何に継承して行くか、考えなければならない。

2. 2. 医学で利用される軌道電子捕獲壊変核種のオージェ効果 (Auger Effect)

ホットアトム効果には、1) 反跳効果、2) イオン化効果 (オージェ効果など)、3) 原子の電子的励起効果などがある。

「放射性核種の分離」や「放射性標識化合物の合成」について記述した章で、ホットアトム効果 (反跳効果; ジラード・チャルマーズ効果) を学習するが、さらに、1) 壊変、特に軌道電子捕獲壊変、して生じた娘核種の結末 (Chemical Fate) を知ることや2) ホットアトム効果、特にオージェ効果、によって化合物が分解することを知することは、自然現象の科学的な考え方を育成する上で大切である。また、オージェ効果による分解作用は、使い方によってはマイナス効果になるが、プラス効果としての利用も可能になる。

放射性医薬品の放射性核種として、軌道電子捕獲壊変をする短寿命核種 (アンダーラインの半減期は30日以内) が多く利用されている (^{51}Cr 、 ^{57}Co 、 ^{58}Co 、 ^{67}Ga 、 ^{75}Se 、 ^{111}In 、 ^{123}I 、 ^{125}I 、 ^{131}Cs 、 ^{169}Yb 、 ^{201}Tl)。

軌道電子捕獲において、K殻の電子捕獲によって生じた空孔を埋めるためにL、M、・・・殻などの軌道電子が次々と下の殻へ落ち込む。その際、上の殻と下の殻の電子の結合エネルギー差が、一部は特性X線として放出されるが、残りの特性X線は運動エネルギーとしてさらに同じ殻の電子に吸収されて、電子はエネルギーを得て原子の外へ放出される。その結果、壊変した原子は正の多重荷電を帯びる。放出された電子をオージェ電子といわれ、このような現象をオージェ効果という。

^{125}I のオージェ効果によって放出されるオージェ電子のエネルギースペクトルや軌道電子捕獲によって生成した ^{125}Te の電荷のスペクトルや、 ^{125}I 標識化合物のオージェ効果にともなう化合物の分解 (クーロン爆発) について学習することにより、反跳効果の学習と合わせて、ホットアトム効果に関する理解が深められる。

^{125}I のオージェ効果により、+1価から+40価の ^{125}Te イオン (平均して20価) が生成する。飛び出す電子のエネルギーは0.1 keVから30 keV (平均して約20 keV) が生じる。 ^{125}I 標識プラスミド (核酸の一種) を用いたオージェ効果によるプラスミドの分解に関する研究がある。

2. 3. 同位体・同中性子体・同重体と原子核反応の種類との関係

核種を陽子数と中性子数の違いから3つに分類して、同位体・同中性子体・同重体とい

う。あるターゲット核に対する種々の核反応により同位体・同中性子体・同重体を製造することができる。ここで、核反応と3種類の生成核種群（：同位体・同中性子体・同重体）の関係をすることにより、同位体・同中性子体・同重体の実用的な意味が理解される。

表1において、横列の原子核反応、縦列の原子核反応、及び右肩上がり斜列の核反応は、それぞれ、同位体、同重体及び同中性子体の生成核反応である。

	A-1	A	A+1
Z+1	(p, 2n)	(d, 2n)	(d, n)
Z	(γ , n)		(d, p)
Z-1	(d, n)	(n, p)	

表1. ターゲット核に対する種々の核反応による同位体・同中性子体・同重体の生成
ここでZ は原子番号、A は質量数を表す。

2. 4. 化学と医学における同位体希釈分析法の相違

同位体希釈法は1932年 (G. ヘベシー) 以来、優れた分析法として用いられてきた。1958年に鈴木信男等 (東北大学) は、微量金属イオンの定量に、同位体希釈法を発展させた、天秤を使用せず、即ち分離の化学収率を求めることなく、放射能測定のみで定量できる、「不足当量同位体希釈法」を提案した。翌年 (1959年)、R. S. ヤロー等は、生体試料 (ホルモン) の定量に、不足当量同位体希釈法に似た「ラジオイムノアッセイ法」を提案した。ラジオイムノアッセイ法は医学の進歩に多大な貢献をし、ヤロー博士はノーベル医学賞を受賞 (1977年) した。不足当量同位体希釈法もラジオイムノアッセイ法も、両者とも、高い検出感度をもつ放射能測定の特徴を最大限に利用した、分析下限が極めて小さい、定量分析法である。

不足当量同位体希釈法の直接法の場合、放射性金属イオンの量 a の放射能 A_0 、放射性金属イオンの量 a と分析試料中の金属イオンの量 x の混合物について $a+x$ より少ない既知量 m と化学量論的にきちんと反応する試薬 (金属との安定度定数の大きいキレート試薬) を用い、反応後の m の放射能が A であるならば、分析試料中の金属イオンの量 x は次式で求められる。

$$x = \frac{A_0}{A} m - a$$

一方、医学におけるラジオイムノアッセイ法による生体試料 (ホルモン) の定量分析では、生体試料と化学量論的に反応する試薬 (免疫反応を利用する場合の抗体) が無いため、化学における不足当量同位体希釈法のような計算式は使用できず、常に、標準曲線 (検量線の一つ) というものを作成して定量値を求める。

標準曲線の作成には、検量線のための標準ホルモンと高い反応特異性を有する試薬 (抗体) の作成や抗原-抗体反応液の反応条件を揃えることが課題となってくる。

2. 5. 原子炉化学

放射性物質の安全取扱に関する学習内容として、放射性物質の搬入、使用、廃棄に関することがらがある。放射性廃棄物について考えることは、放射性物質の使用責任という立場からユーザーにとって重要である。また放射性廃棄物の取扱には放射化学的な知識が必要であり、放射化学の学習において重要である。

さらに、放射性廃棄物にはエネルギー・環境の社会的な問題が含まれている。社会的に最も注目すべきは、原子力産業で大量に出てくる使用済み燃料に関する放射性廃棄物であり、次に医療機関、教育機関、民間企業から出てくる一般的な放射性廃棄物である。

そこで、放射能・放射線を使用する専門職をめざす学生のために、放射化学の炉化学の章の中で、放射性廃棄物について学習する。

なお、医療施設から出る放射性廃棄物は、医療用放射性核種の半減期は短いものが多く、現在、我が国では、医療施設から出る免除レベル以下の放射性廃棄物の放射性廃棄物としての適用免除について放射線審議会で検討されていることも知っておかなければならない。

ここでは、自作の記述内容から、核燃料サイクルに関することと使用済み核燃料処理から出てくる高レベル放射性廃棄物処理計画について述べる。

2. 5. 1. 核燃料サイクル

核燃料サイクル政策では、原子力発電から出る使用済み核燃料集合体は一旦貯蔵プールに保管される。貯蔵プールから取り出した燃料集合体の燃料部分を長さ3-4 cmに切って硝酸に溶かした後、燃料中のウランとプルトニウムを分離、精製する。これらの燃料は加工し、再利用する。化学処理で生じた高レベル放射性廃棄物はガラスで固め、300メートルより深い地下に最終処分することになっている。しかし、再処理をせずに使用済み核燃料を地下に埋める手段も残されている。

2. 5. 2. 高レベル放射性廃棄物処理計画

1) 高レベル放射性廃棄物の処分

人が一人当たり、毎日、1 kWの電気設備で生活するとして、100万kWの発電プラントがあれば、100万人が生活できる。

日本に原子力発電プラントが出来て約40年になり、現在約50基が運転されている。

1基に3%濃縮ウランが100 t詰まっている。

100万kWの発電所で、1日に約 ^{235}U が3 kg (1年間約1 t)消費される(1 gの ^{235}U で1 MW・Day、1000 kW・Day、の電気量)。 ^{238}U の重量を含めると30 t (1 t ÷ 0.03)の放射性廃棄物が出る。つまり、3年間で100 tの燃料が無くなる。

1 tのウランを処理すると、1個の高レベル廃棄物ガラス固化体になる。

30 tの放射性廃棄物から30本の高レベル廃棄物ガラス固化体がでる。

概算で25基・20年分の放射性廃棄物が生じているとして、これまでに

ガラス固化体に換算すると、 $30 \cdot 25 \cdot 20 = 15000$ 本分の廃棄物が生じた(40年前から50基が存在した訳ではない)。

2) ガラス固化体

1 tの燃料が処理されて生じたガラス固化体とは、別名「キャニスター」と云われ、円筒形で、1 m高さ、直径40 cm、体積150リットル、重さ0.5 tのものである。

放射能は β 放射体で $4.5 \cdot 10^{16} \text{ Bq}$ (120 万 Ci)

α 放射体で $3.5 \cdot 10^{14} \text{ Bq}$ (1 万 Ci)

3) 六ヶ所村原子燃料サイクル施設

原子力発電所から出る放射性廃棄物処理する施設が青森県の下北半島の六ヶ所村にある。「日本原燃株式会社」と云い、全国の9電力会社と日本原子力発電(株)の10社などで設立された。平成8年12月より廃棄物の受け入れが開始された。

建設費が2兆円(負担額:1人当たり2万円 \times 1億人 $=2 \cdot 10^{12}$ 円)

再処理工場:

処理能力は800 t ウラン/年(1年で30基から出る廃棄物の量。ガラス固化体800本分。在庫量15000本の処理に20年間かかる。)再処理工場の稼働は2006年の夏ごろの予定である。

高レベル廃棄物貯蔵施設:

160のピットがあり、そこへ10本のガラス固化体が入る(1600本分)。

低レベル放射性廃棄物埋設センター:

200リットルのドラム缶60万本の貯蔵が可能。

ガラス固化体の海上輸送:

1995年、第1回目のガラス固化体28本が、フランスの処理工場から輸送された。 $0.5 \text{ t} \times 28 \text{ 本} = 14 \text{ t}$ であるが、キャニスターは頑丈な輸送容器に収納されて運ばれるので、総重量100 t 近になる。

日本はフランスやイギリスに日本の使用済み燃料の処理を依頼し、毎年数回、10年間で、3000本(30本 \cdot 3回 \cdot 10年間)返還される予定である。

ガラス固化体は一旦は六ヶ所村に貯蔵され、将来は地層処分がおこなわれる。地層処分事業は操業開始までまだ50年以上は先のことになる予想されている。

2. 6. 色々な放射線量を理解するための基本定数

放射線に関する基本定数として、次の4つの関係が重要である。

a. esu と C $\{(1\text{esu})(1\text{esu})/(1\text{cm})^2 = 1\text{dyn}$ の引力または反発力

$$\{(1\text{C})(1\text{C})/(1\text{m})^2 = 8.987 \cdot 10^{14} \text{ dyn} \quad \therefore 1\text{C} = 2.998 \cdot 10^9 \text{ esu}$$

b. 電気素量(電子の電荷) $96484\text{C}/6.02 \cdot 10^{23} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 4.803 \cdot 10^{-10} \text{ esu}$

c. C と V $1\text{N} \cdot 1\text{m} = 1\text{J} = 1\text{W} \cdot 1\text{s} = 1\text{V} \cdot 1\text{A} \cdot 1\text{s} = 1\text{V} \cdot 1\text{C} \quad \therefore 1\text{V} = 1\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{C}^{-1}$

d. eV と erg $1\text{eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{C}^{-1} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1.602 \cdot 10^{-12} \text{ erg}$

これらの関係を知ることにより、放射線エネルギー、照射線量、照射線量率などの色々な放射線量について理解できる。

2. 7. 化学的な側面から見た被ばく線量

2. 7. 1. 半致死線量4 Gy とは

4 Gy とは細胞核にどれだけの損傷を与える線量であるかを、モデル計算によって求めると、細胞核に53000 イオンを生じさせる線量であることが分かる。

$$4\text{Gy} = 40000 \text{ erg/g} = 2.5 \cdot 10^{16} \text{ eV/1 g の物質};$$

$$(2.5 \cdot 10^{16} \text{ eV/g}) \times 64 \cdot 10^{-12} \text{ g} = 1.6 \cdot 10^6 \text{ eV/1 個の細胞核};$$

$$1.6 \cdot 10^6 \text{ eV/30eV} = 53000 \text{ イオン/1 個の細胞核}$$

即ち、核中のDNA鎖(重さ 5.6 pg)の原子の数 10^{11} 個に比べて、イオンの数は53000 個という僅かな数であるが、重要な生物影響の引き金となる。

2. 7. 2. 低線量放射線に関する試算例

人間は自然放射線を受けながら生きている。その放射線の量は、われわれの体の中の細胞(核)が、どれも1年に一度の放射線のトラックの洗礼、つまりどの細胞にも数10 個のイオン対を生じる位の大きさである。成人の体には60兆個もの多くの細胞があるといわれている。放射線や他の要因で傷ついた細胞は、その何倍もある老化して寿命の尽きた細胞とともに代謝され、新しいものに置き換えられる。したがって、それに伴うイオン化はそれほど重大なものではない。

人体の細胞の概算個数及び人が受けている放射線のトラックの数をつぎのように試算することができる。

$$\text{体細胞の直径 } 10 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ cm}; \text{ 体細胞の体積 } = (1/6)\pi 10^{-9} \text{ cm}^3$$

$$\text{人体の細胞の概算個数} = 60 \text{ kg} / (1/6)\pi 10^{-9} \text{ g} = 100 \text{ 兆個 (学説では60 兆個)}$$

$$1 \text{ g の組織が自然放射線を } 100 \text{ mrad 受けたときの吸収エネルギー}$$

$$100 \cdot 10^{-3} \text{ rad/g} \cdot 100 \text{ erg/rad} \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 6.3 \cdot 10^{11} \text{ eV/erg} = 3.6 \cdot 10^{17} \text{ eV}$$

$$1 \text{ 年間に自然放射線を } 100 \text{ mrad 受けたとき、放射線エネルギーが}$$

$$10000 \text{ eV とすれば、イオン・トラックの数は}$$

$$3.6 \cdot 10^{17} \text{ eV} / \sim 1000 \text{ eV} = \sim 10^{14} \text{ (100 兆) 個のトラック}$$

$$\text{なお、この場合一本のトラックにイオンの数は } 1000 \text{ eV} / 30 \text{ eV} = \sim 30 \text{ 個}$$

3. 学生に対して授業内容について行ったアンケート調査結果

授業で使用した自作テキストについて、学生がどのように感じたかを知るために、授業が終了してから、アンケート調査を行った。学生数は30名であった。テキストは20章に分かれており、各章について、3つのことを質問した。即ち、1. 非常に興味をもったか? 2. 興味をもったか? 3. 興味をもてなかったか? である。結果は以下のようになった。

					評価
第 1 章	放射線・放射能の歴史	1. 5%	2. 59%	3. 36%	良
第 3 章	同位体・同重体・同中性子体	1. 0%	2. 73%	3. 27%	良
第 4 章	壊変形式と壊変図(軌道電子捕獲)	1. 0%	2. 82%	3. 18%	良
第 6 章	宇宙線と天然放射性核種	1. 32%	2. 50%	3. 18%	良
第 7 章	原子核の安定性	1. 9%	2. 55%	3. 36%	良
第 9 章	原子核反応と加速器	1. 9%	2. 59%	3. 32%	良
第10章	放射平衡	1. 5%	2. 36%	3. 59%	悪
付録	放射線に関する単位	1. 14%	2. 41%	3. 45%	悪
第11章	RIの分離	1. 9%	2. 55%	3. 36%	良
第12・13章	RIを用いた分析	1. 7%	2. 41%	3. 53%	悪

第16章 放射線化学	1. 0%	2. 32%	3. 68%	悪
第17章 放射性物質の安全取扱い	1. 18%	2. 64%	3. 18%	良
第18章 化学から見た放射線の健康影響	1. 30%	2. 37%	3. 33%	良
第19章 炉化学（放射性廃棄物）	1. 32%	2. 32%	3. 36%	良

関心を持ったとする値が60%以上のものを「良」と評価するならば、多くの学生は授業が楽しかったと感じたことになる。テキスト内容で工夫をして授業した「放射線に関する単位」、「R I を用いた分析（不足当量法とラジオイムノアッセイ法）」の講義に対して良い評価が得られなかった。また、「放射平衡」の講義についても良い評価が得られなかった。これらに対してさらに工夫した教え方が必要である。

4. 結語

授業後のアンケート調査で、放射線に対するイメージの変化と学習に対する満足度を質問したところ、放射線に対するイメージが 1. 良くなったとする値が23%、2. 変わらなかったとする値が77%であった。また、放射能・放射線化学に関する学習の満足度に 1. もっと学習したいとする値が32%、2. 十分学習したとする値が18%、授業が難解であったとする値が50%であった。

放射化学・放射線化学のテキストの作成にあたり、放射化学を学ぶ意義、壊変後の娘核種の存在、生活エネルギーの常識、 $> \cdot < \cdot =$ に関する意識、各種の放射線量の理解、生体物質と無機物質の違い、イオン数から見た被ばく線量、核分裂と環境・・・について教えようとしている。学生には、診療放射線技師の資格をえるための国家試験対策としてでなく、放射化学と放射線化学を将来の自分の生活に結びつけ、興味深く学習することを願っている。さらに分かり易いテキストの作成に工夫をしたい。