

## 동물 이상행동과 지진전조 가설검증 연구동향 및 한계점

# Literature Review on the relation between Animals Unusual Behavior and Premonitory Symptoms of an Earthquake

Sohee Lee<sup>a,\*</sup>, Youngjin Park<sup>b,1</sup>

<sup>a</sup> Disaster Information Research Division, National Disaster Management Research Institute, 4F, 365, Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan, 44538, Republic of Korea

<sup>b</sup> Disaster Information Research Division, National Disaster Management Research Institute, 4F, 365, Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan, 44538, Republic of Korea

### ABSTRACT

The cases of animals unusual behavior have been reported occasionally before a major disaster occurs. Could animals unusual behavior associated with a major disaster occurrence, if so, could we foreknow a disaster occurrence? The purpose of study is to quest an answer through literature reviews on the relation between animals unusual behavior and premonitory symptoms of an earthquake. These empirical studies are classified three parts according as methodological framework; statistical analysis, experimental analysis, observation analysis. The results are simply divided as two, 'animals unusual behavior may be seen as a precursor of pre-disaster phenomena' and 'difficult to see.' A number of studies have been performed abroad, however there is no one in Korea. Most of the studies point out common limitations-difficult to verify the reliability of data, accidentally get and fewer samples of data, difficulty of ensuring appropriate data, etc. That is why more related research with animals unusual behavior and disaster occurrence is needed to validate cause-and-effect relation of animal unusual behavior and pre-disaster phenomena.

### KEYWORDS

animals unusual behavior  
premonitory symptoms of an earthquake  
literature review  
statistical analysis  
experimental analysis  
observation analysis

대형재해 발생 전 동물 이상행동 목격사례가 심심치 않게 보도되고 있다. 동물 이상행동이 대형재해 발생과 연관이 있을까, 그렇다면 재해발생을 예지할 수 있을까? 본 연구의 목적은 동물 이상행동과 지진전조 관련 선행연구 고찰을 통해 이에 대한 해답을 탐구(探求)해 봄에 있다. 본 연구에서는 분석방법론에 따라 사례조사, 실험분석, 관찰 분석을 통한 가설검증 연구와 그 한계점을 고찰하였다. 선행연구는 결과적으로 '동물 이상행동을 전조현상으로 볼 수도 있다'와 '보기 어렵다'로 이분되며, 양쪽 모두 다수의 연구가 수행되었다. 그러나 관련연구에서는 데이터의 신뢰성 검증이 어렵고, 우연하게 계속된 데이터의 적은 샘플 수, 적합한 데이터 확보의 어려움 등 공통된 한계점을 지적하고 있다. 이에 지진예지예의 활용 가능성 검토단계에 이르기 위해서는 동물 이상행동과 지진발생과의 인과관계에 대한 과학적 검증이 선행되어야 한다.

동물 이상행동  
지진전조현상  
선행연구 고찰  
사례조사 분석 방법  
실험 분석 방법  
관찰 분석 방법

© 2017 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

\* Corresponding author. Tel. 82-52-928-8222. Fax. 82-52-928-8249.

Email. shlee4649@korea.kr

1 Tel. 82-52-928-8200. Email. clubpark@korea.kr

### ARTICLE HISTORY

Received Feb. 13, 2017

Revised Feb. 24, 2017

Accepted Mar. 22, 2017

# 1. 서론

## 1.1 연구배경 및 필요성

2008년 중국 쓰촨성대지진 발생 3일 전 수십만 마리 두꺼비 떼 목격(2008년5월13일자 연합뉴스, “지진, 두꺼비가 먼저 알았다”), 2011년 뉴질랜드 크라이스트처치대지진 발생 2일 전 100여 마리 돌고래 집단폐사(2011년2월22일자 Mirror, “Is New Zealand earthquake linked to the mysterious deaths of more than 100 pilot whales?”) 등 대형재난 발생 전 동물들의 이상행동 목격사례가 심심치 않게 보도되고 있다.

동물 이상행동이 대형재난 발생과 연관이 있을까? 그렇다면 사전에 재난발생을 예지할 수 있을까? 본 연구에서는 동물 이상행동과 재난과의 연관성을 살펴본 선행연구 고찰을 통해 이에 대한 해답을 탐구(探求)해 보고자 한다.

재난전조현상과 재난발생간의 연관성 연구는 대부분 지진재난에 초점을 두고 있다. 이는 다른 재난유형에 비해 지진발생 전 전조현상—지표변형 현상, 지구물리학적 현상(예. 전기장, 자기장 변화 등), 이상대기 현상(예. 지진구름, 지진광 등), 지진학적 현상(예. 지진과 속도 등), 생물학적 현상(예. 동물 이상행동)이 보다 다양하게 관측·보고되고 있기 때문이라 사료된다. 이와 같은 다양한 전조현상 중에서도 본 연구에서는 생물학적 현상—동물 이상행동에 국한하여 관련 선행연구를 조사·분석하였다.

동물 이상행동이 대형재난 발생과 어떠한 연관이 있다는 것은 다수 과학자들의 공통된 견해이나 이를 뒷받침할 수 있는 과학적 가설(근거)의 실증검증이 어렵다는 것 또한 관련 선행연구의 공통된 한계점이다.

그 이유를 정리해 보면, 과학적 연구가설 정립과 원인규명의 어려움, 연구가설의 인과관계(동물 이상행동과 재난발생)를 실증 분석할 수 있는 데이터의 부족, 복잡한 생태계 메커니즘을 단순한 실험환경으로 구성하기 어려움, 다수의 환경변수(예. 생태환경 변화나 기상이변 등)를 실험상에서 통제하기 어려움, 실험 객체의 특성이 실험에 미치는 영향을 배제하기 어려움, 실험결과의 일반화가 어려움 등이 있다.

그럼에도 불구하고 동물 이상행동과 재난발생간의 연관성 검증관련 연구는 국외에서 다수 수행되어 왔다. 국내 관련연구로는 지진예측 관련 국외연구 동향, 인프라, 프로그램 등의 사례를 수집·정리한 조봉곤 외 6인(2010)의 연구보고서가 있으나, 지진의 물리학적 발생 메커니즘에 초점을 두고 있다. 이 외 동물 이상행동 목격사례 696건의 DB를 수집·구축하여, 동물유형, 이상행동유형, 목격시기 특징을 분석한 이소희·박영진(2016)의 연구가 있으나, 지진발생과 동물 이상행동의 연관성이 있음을 가정, 수집된 목격사례DB의 특징을 분석한 연구로 가설검증 연구동향을 고찰한 본 연구와는 차별된다. 이를 제외한 국내 관련연구는 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 관련연구 동향과 검증방법의 한계점을 고찰해 보고자 한다.

## 1.2 연구목적

국의 관련연구는 동물 이상행동을 재난발생과 연관 지어 설명할 수 있는지—연구가설을 정립하고 이를 검증하는데 초점을 두고 있으며, 데이터 수집방법이나 실증분석 방법론에 따라서 구분지어 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 데이터수집 및 검증방법에 따라 ①사례조사, ②실험분석, ③관찰 분석을 통한 가설검증 선행연구를 고찰하고, 방법론에 따른 한계점을 도출하였다(표1). 정리하자면, 본 연구의 목적은 관련연구 고찰을 통해 검증방법의 한계점을 짚어봄으로써 동물 이상행동이라는 지진전조현상을 통한 자연재난 예지 가능성을 검토해 봄에 있다.

Table 1. Literature review on the relation between animals unusual behavior and pre-disaster phenomenon

Methodologic al framework	Authors (year)	Marking whether animals unusual behavior is related(○) or not(×)	Assumption
Statistical Analysis (observed reports)	Rikitake(1978)	○	The relation between observed time of Animals unusual behavior and seismic arrival time
	Whitehead and Ulusoy(2013)	○	Pet-specific behaviors, e.g. being missing, and coming back home, before and after an earthquake

Methodologic al framework	Authors (year)	Marking whether animals unusual behavior is related(○) or not(×)	Assumption
	Schaal(1988)	×	The relation between earthquake and pet disappearance advertisement in local newspapers
	Grant and Conlan(2013)	×	The relation between earthquake and amphibian's unusual behavior in press articles
	Whitehead et al.(2004)	×	The relation between earthquake and reports of animals' unusual behaviors in the case of Great Hanshin earthquake in Japan and Izmit earthquake in Turkey
Experimental Analysis	Yokoi et al.(2003)	○	The difference in circadian rhythm of lab rats before and after the Great Hanshin earthquake
	Li et al.(2009)	×	The difference in circadian rhythm of lab rats before and after the Great Sichuan earthquake
	Yonai et al.(2012)	○	The difference in food intake, responses to electric shock and fear situation of lab rats before and after the Great East Japan earthquake
	Grant and Conlan(2015)	○	The change of underground water chemical structure before an earthquake
	Turner et al.(2015)	○	The difference in measured values of hydrophone in aquarium(dolphin) before and after an earthquake
Observation Analysis	Grant and Halliday(2010)	×	The unusual behavior of toads before and after an earthquake
	Grant et al.(2011)	○	The change of underground water chemical structure due to geological activity, and abnormal behavior of toads
	Lighton and Duncan(2005)	×	The difference in movement of ants before and after an earthquake
	Berberich et al.(2013)	○	Geological changes and regular life schedule of red ants

## 2. 본 론

### 2.1 사례조사를 통한 가설검증 연구 고찰 및 한계점

사례조사를 통한 가설검증 선행연구에서는 동물 이상행동 목격담과 지진발생 현황 정보를 수집·구축하고, 통계적 검증을 통해 두 변수 간의 연관성을 분석한다.

Rikitake(1978)는 동물 이상행동 목격시기와 지진 시 발생하는 지진파 도달시간과의 관계분석을 통해 지진 전자기신호(SEMS: Seismic Electro magnetic Signals)와 동물 이상행동 목격시기의 유사함을 확인하였다.

Whitehead and Ulusoy(2013)의 연구에서는 2010년 뉴질랜드 크라이스트처치대지진 시 동물 이상행동 목격사례에 관한 설문조사를 실시하여 150여개의 유효한 목격담을 수집하고 그 특징을 분석하였다. 사례조사 결과, 지진발생 1시간 전에 애완동물의 특이행동 목격사례가 급증했으며, 애완동물의 실종 혹은 집으로 돌아왔다는 보고사례가 평상 시 평균보다 2배, 지진발생 전날에는 4.5배 많은 것으로 나타났다. 또한 위성시스템을 통해 계측된 대기 중 이온층의 이상 현상과 애완동물의 실종일자 주기가 유사함을 확인하였다.

Schaal(1988)의 연구에서는 미국 샌프란시스코지역 애완동물 실종과 지진발생 연관성을 검증하기 위해 3년간 지역신문에 게재된 실종공고 4만 여건과 동일한 기간 내 그 지역에서 발생한 지진 224건의 상관관계를 분석하였다. 그러나 Whitehead and Ulusoy(2013)의 연구결과와는 달리 애완동물 실종과 지진발생간의 통계적 유의성을 얻지 못했다.

Grant and Conlan(2013)의 연구에서는 양서류—개구리나 두꺼비 떼의 이상움직임 관련 언론기사를 수집하여 동일 지역에서 발생한 지진과의 연관성을 분석하였다. 그러나 연구결과 양서류의 이상행동은 지진의 전조현상이 아닌 자연스러운 생물학적 움직임이라 결론지었다.

Whitehead et al.(2004)의 연구에서는 1995년 일본 한신아와지대지진(阪神·淡路大震災, 일명 고베대지진)과 1999년 터키 이즈미지진 사례를 대상으로 목격된 다양한 지진전조현상과 지진발생간의 통계적 유의성을 분석하였다. 그 결과, 동물 이상행동은 통계적으로 유의하지 않았으나, 기상·지구물리학적 전조현상을 유의함을 확인하였다.

이상과 같이 사례조사를 통한 가설검증 선행연구에서는 동물 이상행동 목격사례와 지진발생간의 통계적 유의성을 검증한다. 그러나 이와 같은 선행연구에서 통계분석에 활용되는 동물 이상행동 목격사례 정보는 재난 사후에 조사·수집되기 때문에 목격자의 개인성향이나 편견을 배제하기 어렵고 데이터의 신뢰성을 검증하기 어렵다는 한계가 있다.

## 2.2 실험분석을 통한 가설검증 연구 고찰 및 한계점

실험분석을 통한 가설검증 선행연구에서는 실제 지진 발생 당시, 다른 목적 하에 수행 중인 동물 생태실험을 통해 우연하게 계측·수집된 데이터를 기반으로 동물 이상행동과 지진발생간의 연관성 검증을 수행한다. 다시 말하면, 지진발생 시 계측된 실험실 동물의 이상행동과 지진발생을 가정한 실험환경을 조성하고 그 실험을 통해 수집된 동물의 움직임 등 개체의 특성을 비교·분석한다.

Yokoi et al.(2003)의 연구에서는 1995년 일본 고베대지진 발생 전후 오사카대학 단백질연구소 실험실 쥐들의 활동일주기(Circadian Rhythm) 계측기록을 비교·분석하였다. 그 결과, 쥐들이 평소와는 달리 지진 전날 급격한 활동량을 보였으며, 그 원인으로 쥐들이 지진전자기신호(SEMS : Seismic Electro-magnetic Signals)를 감지했을 가능성을 제시하였다.

Li et al.(2009)의 연구에서는 2008년 중국 쓰촨성대지진 발생 전후 각 18일간 8마리 쥐의 활동일주기 계측기록을 비교·분석하였다. 그 결과, 지진발생 3일 전부터 쥐들의 활동일주기가 사라지고 활동량이 급격하게 줄어드는 것을 확인하였다.

이는 지진 전날 급격한 활동량을 보였다는 Yokoi et al.(2003)의 연구와는 상반되는 실험결과로서, Li et al.(2009)는 동종의 동물일지라도 실험실 환경이나 분석방법, 개체 간의 차이에 의해서도 실험결과가 달라질 수 있음을 지적하였다.

Yanai et al.(2012)는 2011년 동일본대지진을 경험한 실험실 쥐들이 그 이후 다량의 음식을 섭취하는 것을 관찰하여, 지진경험 유무의 각각 46마리의 쥐 그룹을 비교대상으로 음식 섭취량에 대한 실증실험을 수행하였다. 그 결과, 지진을 경험한 쥐들이 실험에 사용된 두 가지 자극(전기충격과 공포상황)에 더 크게 반응하였으며, 상대적으로 많은 음식을 섭취한다는 것을 확인하였다. 이는 Li et al.(2009)의 연구에서 시사 한바와 같이 동일한 조건의 실증실험에서 동종의 동물일지라도 실험개체의 개별 특성(경험 등)이 실험결과에 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

Grant and Conlan(2015)의 연구에서는 지진발생 전 인근지역 지하수의 화학구조 변화가 무척추동물—물벼룩과 지렁이의 이상행동과 연관이 있는지에 관한 실증분석을 수행하였다. 분석결과, 물벼룩은 과산화수소에 반응하였으나 지렁이는 별다른 반응을 보이지 않았으며, 이로서 물벼룩과 달리 지렁이는 전기장 변화 등의 다른 지진전조현상에 영향을 받을 것이라는 가설을 제시하였다.

Turner et al.(2015)는 2011년 미국 버지니아주에서 발생한 지진 직전 국립수족관 다수 돌고래의 이상행동과 지진과의 연관성을 분석하였다. 지진 전후 수족관의 소리를 감지하고 녹음하는 음파탐지기(Hydrophone)의 계측 값을 비교·분석하여 돌고래가 특이행동을 보였음을 증명하였으며, 이를 통해 지진에 의한 진동보다 먼저 도달하는 지진파를 돌고래가 미리 감지하여 반응했을 것이라는 가설을 제시하였다.

이상과 같은 실험분석을 통한 가설검증 선행연구는 실증실험을 위한 데이터 비교군—실제 지진발생 전후 계측·수집된 동물들의 행동변화 정보가 필요하다. 그러나 대형재난은 그 발생빈도가 낮기 때문에 실증분석에 필요한 데이터 수집 자체가 어려우며, 단일 재난사례로서 실험결과를 일반화하기 어렵다. 또한 계측·수집된 데이터는 다른 연구목적으로 설계된 실험실에서 우연하게 계측된 자료이기 때문에 실험 개체 수, 계측기간 및 시간단위, 실험조건 등 실증분석 수행을 위한 적합한 데이터 수집이 어렵다는 한계가 있다.

### 2.3 관찰 분석을 통한 가설검증 연구 고찰 및 한계점

관찰 분석을 통한 가설검증 선행연구에서는 개체의 개별 관찰을 통해 데이터를 수집하고, 지진전조 등 외부 환경요인 변화에 따른 개체의 특이행동을 관찰하여 지진발생과의 연관성을 검증한다.

Grant and Halliday(2010)의 연구에서는 2009년 이탈리아 L' Aquila 지진발생 당시 관찰 중이던 수컷 두꺼비들의 이상행동과 환경적 변화요인(습도, 바람, 기온 등)과의 관련성을 분석하였다. 관찰 결과, 지진발생 수일 전 수컷두꺼비의 짝짓기가 그 시기에 일반적이지 않을 만큼 많았으며(관찰한 사례수의 96%), 5일 전부터는 거의 전무하였다. 이러한 관찰데이터를 당시의 환경요인 및 지진발생과 연관 지어 분석한 결과, 수컷두꺼비의 이상행동이 지진이 아닌 강한 바람이나 보름날의 환경요인에 의한 것일 수도 있다는 점 또한 배제할 수 없다고 결론지었다.

또 다른 연구(Grant et al., 2011)에서는 위와 동일한 2009년 이탈리아 L' Aquila 지진의 진원지에서 75km 떨어진 두꺼비 번식지의 두꺼비 개체수가 지진발생 수일 전에 급격하게 감소한 것과 지질활동에 의한 지하수 화학구조 변화와의 연관성을 분석하였다. 분석결과, 두꺼비 서식지 연못물의 화학구조 변화가 두꺼비 떼에게 스트레스나 독소가 됐을 수도 있으며 그로 인해 개체수가 감소했을 수 있다는 가설을 제시하였다.

Lighton and Duncan(2005)의 연구에서는 미국 Mojave사막에서 발생한 지진 전후 개미집단의 움직임 변화(이동경로 및 속도, 활동성 등)를 관찰하였으나 별 다른 차이점을 찾지 못했다.

Berberich et al.(2013)의 연구에서는 독일 아이플 지역에서 3년간 두 개의 불개미 집단을 24시간 고화질 카메라로 관찰하여, 불개미의 생활규칙성과 해당지역에서 발생한 지질학적 움직임과의 관련성을 분석하였다. 그 결과, Lighton and Duncan(2005)의 연구결과와는 달리 지진발생 몇 시간 전부터 불개미들이 규칙적인 활동을 멈췄고 그 다음날까지 평소와 같이 활동하지 않았음을 확인하였다.

이상과 같은 관찰 분석을 통한 가설검증 선행연구는 관찰을 통해 다수 개체의 다양한 조건의 데이터 수집이 가능하기 때문에 실증분석 방법의 한계점—실증분석에 적합한 데이터 수집의 어려움을 보완할 수 있으나, 연구자가 통제할 수 없는 외부 환경요인이 분석결과에 미치는 영향을 온전히 배제하기 어렵다는 한계가 있다.

## 3. 결론

### 3.1 선행연구의 한계점 및 최근 국외연구 동향

본 연구에서는 동물 이상행동과 지진발생간의 연관성 관련 선행연구를 검증방법—사례조사, 실증분석, 관찰 분석에 따라 분류하여 고찰하고 연구의 한계점을 도출하였다.

관련연구는 결론적으로 '동물 이상행동을 지진전조현상으로 볼 수 있다(지진발생과 연관 있다)'와 '없다(지진발생과 연관 짓기 어렵다)'로 이분되나, 검증방법에 따라 데이터 신뢰성 검증의 어려움, 적합한 데이터 확보의 어려움, 외부 환경요인의 통제가 어려움 등 이분적인 결론으로 귀결될 수 없는 공통된 한계점을 갖고 있다. 어떤 동물의 어떤 초감각이 어떤 전조현상을 감지하여 특이행동으로 표출되는지에 대한 자극반응 메커니즘은 아직까지 미지의 영역으로 남아있는 부분이 많은 것이 현실이기 때문이다.

이러한 관점에서 동물 이상행동과 지진발생간의 연관관계에 대한 과학적 가설설정 및 검증연구는 아직 기초단계이며, 인과관계 검증을 위해서는 다양한 재난사례별 신뢰성 있는 다수의 데이터와 연구사례, 실험결과와 축적이 필요하다.

이와 같은 이유로 Bhargava et al.(2009)의 연구에서는 지진전조현상의 체계적인 관측시스템 구축과 관측 데이터 수집의

중요성을 언급하였다. 이 밖에도 다수의 연구자들이 동물 이상행동과 지진 발생간의 인과관계 증명연구를 위한 전조현상 정보의 과학적인 수집방법 및 데이터베이스화의 중요성을 지적하고 있다(e.g., Grant et al., 2011; Li et al., 2009).

최근에는 기존의 단편적이고 수동적인 데이터 수집방법에서 벗어나 동물에게 GPS장치를 부착하는 등 관측데이터를 능동적으로 수집·구축하는 노력들이 시도되고 있다. 또한 재난발생 전후 동물들의 이동경로나 행동패턴 분석 등 다양한 연구 분야 전문가들의 협의체 구성을 통한 국제적인 연구협력이 추진되고 있다(국제 동물 행동연구 협의체(ICARUS Initiative)).

### 3.2 지진재난 예지 가능성 검토

사전에 지진발생을 예지할 수 있을까? 1975년 중국 하이청대지진 발생 전에 거대한 땅울림, 지진구름, 개구리 떼 대이동 등 전조현상에 관한 제보를 종합하여, 사전에 지역주민을 대피시킴으로써 인명피해를 최소화한 실제 사례가 있다(2010년4월 15일자 사이언스타임지, “동물들이 지진을 예측할 수 있을까”).

일반적인 과학적 연구수행은 ①증언, 문헌 등 데이터 수집과 통계분석을 통한 현상발견, ②관측데이터의 재현성 증명을 통한 현상확인, ③실험·관찰에 의한 인과관계(연구가설) 증명과정을 거쳐서 ④현상을 인지하는 단계에 이른다.

각 단계의 연구가 완성되면 향후 지속적인 현상관측을 통해 연구가설을 재검증하게 되며, 이와 같은 프로세스를 거쳐야만 재난전조현상 관측을 통한 재난예지 가능성을 검토해 볼 수 있는 기반연구단계에 도달했다고 볼 수 있다. 따라서 재난예지 가능성 검토를 위해서는 동물 이상행동 등 전조현상과 재난발생 간의 인과관계에 대한 과학적 검증이 선행되어야만 한다.

또한 지진전조 사전인지를 통한 인적피해 경감사례가 거의 전무하고 실증실험 연구결과를 일반화시키기 어렵다는 점 등, 현상발견—현상확인—인과관계 증명—현상인지 단계를 거쳐 재난예지 가능성 검토단계에 이르기 위해서는 아직까지 많은 선행연구 수행이 필요하다.

## References

- Berberich, G., Berberich, M., Grumpe, A., Wohler, C., Schreiber, U. (2013). "Early Results of Three-year Monitoring of Red Wood Ants' Behavioral Changes and Their Possible Correlation with earthquake Events." *Animals*, Vol. 3, pp. 63-84.
- Bhargava, N., Katiyar, V. K., Sharma, M. L., Pradhan, P. (2009). "Earthquake Prediction through Animal Behavior: A Review." *Indian Journal of Biomechanics, Special Issue (NCBM7-8)*, pp. 159-165.
- Cho, B. *et al.* (2010). "A Study on the Evaluation of Earthquake-precognition cases and the Feasibility to Develop Monitoring Systems to Observe Earthquake Precursors, Research Report, Technical Capacity Establishment Project, Korea Meteorological Administration.
- Grant, R. A., Conlan, H. (2013). "Frog Swarms: Earthquake Precursors or False Alarms." *Animals*, Vol. 3, pp. 962-977.
- Grant, R. A., Conlan, H. (2015). "Behavioral Response of Invertebrates to Experimental Simulation of Pre-seismic Chemical Changes." *Animals*, Vol. 5, pp. 206-213.
- Grant, R. A., Halliday, T. (2010). "Predicting the Unpredictable: Evidence of Pre-seismic Anticipatory Behaviour in the Common Toad." *Journal of Zoology*, Vol. 1, pp. 1-9.
- Grant, R. A., Halliday, T., Balderer, W. P., Leuenberger, F., Newcomer, M., Cyr, G., Freund, F. (2011). "Ground Water Chemistry Changes before Major Earthquakes and Possible Effects on Animals." *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 8, pp. 1936-1956.
- ICARUS Initiative, International Cooperation for Animal Research using Space: <http://icarusinitiative.org/>
- Lighton, J. B., Duncan, F. D. (2005). "Shaken, not Stirred: A Serendipitous Study of Ants and Earthquakes." *The Journal of Experimental Biology*, Vol. 208, pp. 3103-3107.
- Li, Y., Liu, Y., Jiang, Z., Guan, J., Yi, G., Cheng, S., Yang, B., Fu, T., Wang, Z. (2009). "Behavioral Change Related to Wenchuan Devastating Earthquake in Mice." *Bioelectromagnetics*, Vol. 30, pp. 613-620.
- Lee, S., Park, Y. (2016). "Analysis and Survey of Animals Unusual Behavior before Earthquakes." *Journal of Korean Society*

of Hazard Mitigation, Vol. 16, No. 6, pp. 339-346.

Rikitake, T. (1978). "Biosystem Behaviour as an Earthquake Precursor." *Tectonophysics*, Vol. 51, pp. 1-20.

Schaal, R. (1988). "An Evaluation of the Animal-behavior Theory for Earthquake Prediction." *California Geology*, Vol. 41, No. 2., pp. 1-15.

Turner, M. R., Turner, C., Hunter, S., Day, M. (2015). "Observed Reactions of Atlantic Bottlenose Dolphins at the National Aquarium during the 2011 Virginia Earthquake." *Marine Mammal Science*, Vol. 31, No. 2, pp. 726-733.

Whitehead, N. E., Ulusoy, U. (2013). "Macroscopic Anomalies before the September 2010 M=7.1 Earthquake in Christchurch, New Zealand." *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 13, pp. 1-10.

Whitehead, N. E., Ulusoy, U., Asahara, H., Ikeya, M. (2004). "Are any Public-reported Earthquake Precursors Valid?" *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 4, pp. 463-468.

Yanai, S., Semba, Y., Endo, S. (2012). "Remarkable Changes in Behavior and Physiology of Laboratory Mice after the Massive 2011 Tohoku Earthquake in Japan." *A Peer-reviewed, Open Access Journal (PLoS ONE)*, Vol. 7, No. 9, pp. 1-8.

Yokoi, S., Ikeya, M., Yagi, T., Nagai, K. (2003). "Mouse Circadian Rhythm before the Kobe Earthquake in 1995." *Bioelectromagnetics*, Vol. 24, pp. 289-291.