The Korean Journal of Quaternary Research
Vol. 16, No. 2, pp. 33~38 (2002)

한국에 있어서 지자기 영년변화의 측정

성 형 미
日本 富山大學 理學部 地球科學教室

Measurement of Archaeomagnetic Secular Variation in Korea

Hyong-Mi Sung
Faculty of Science, Toyama University

요 약

우리나라 남부지방의 28기 유구의 소토에서 정방위시료를 채취하여 고고지자기 측정법으로 우리나라에서의 과거 지자기 방향을 구하였다. 이 자료의 연대는 A.D. 3~9세기, A.D. 1317년, A.D. 15~16세기에 걸쳐있다. A.D. 5~6세기의 우리나라 지자기 방향은 같은 시기 일본의 지자기 방향과 매우 유사하나, A.D. 3~4세기의 우리나라 지자기 방향은 같은 시기의 일본의 지자기 방향보다 크게 동쪽으로 편향하고 있었다. 이러한 차이는 A.D. 3~4세기경에 우리나라와 일본 부근에 현저한 국지적 지자기 이상이 있었음을 의미한다. A.D. 3~6세기와 A.D. 7~9세기의 우리나라 지자기영년변화곡선의 개형이 구해졌으며, 이것을 사용하여 유물이 출토되지 않아 연대를 알 수 없는 유적에서 소토를 이용하여 대략의 연대치를 측정할 수 있다.

ABSTRACT

28 direction of the past Korean geomagnetic field were determined by archaeomagnetic measurements of 734 oriented samples, collected from baked earths of remains in the southern Korea. These data cover periods of A.D. 3-9C, A. D. 1317 and A.D. 15-16C. It is noted that Korean geomagnetic field data in 5-6C are similar to those of contemporary Japanese geomagnetic field, but Korean geomagnetic field data in A.D. 3-4C deflect more easterly than contemporary Japanese geomagnetic field. The observed large difference of geomagnetic field direction between Korea and Japan suggests the existence of a prominent local geomagnetic anomaly in the vicinity of Japan and Korea in the period of A.D. 3-4C. An approximate figure of Korean archaeomagnetic secular curve for the periods of A.D. 3-6C and A.D. 7-9C was obtained. This curve is sure to be helpful for Korean archaeology to data the last firing of baked earths accompanied with no relics.

서 론

고고유적의 발굴에서 얻어지는 각종의 자연유물과 문화유물을 주 연구대상으로 하는 고고학에 있어서 출토된 유물의 시대를 결정하여 각각의 유적지와 유물의 편년을 수립하는 것은 고고학에 있어서 핵심적인 연구과제의 하나이다. 자연과학적으로 연대를 추정하는 방법은 여러 가지가 있지만, 그 중에서 고고지자기 연대추정법은 특히 출토유물이 적은 竪穴나 廬址의 연대측정에 유력한 수단이 되고 있다.

지자기는 일정불변한 것이 아니고, 항상 그 방향이 변하고 있다. 지자기는 시대와 함께 그 방향이 변하고 있기 때문에 지자기의 방향이 연대

에 대응하게 된다. 따라서, 만일 각 시대의 지자기의 방향을 알고 있다면, 잔류자기의 방향에서 지자기의 방향을 산출하여 연대를 알 수 있다. 고고지자기 연대추정법을 소토에 적용하기 위해서는 연대척도로써 사용할 수 있는 지자기영년변화곡선이 필수적이므로 이의 작성이 기초과제가 된다. 우리나라에는 잔류자기측정치를 기초로 한 과거의 지자기 영년변화곡선이 아직까지 작성되어 있지 않다. 따라서 한국의 고고학계에서 고고지자기 연대추정법에 의한 편년을 수립하기 위하여서는 과거의 지자기영년변화곡선의 작성이 최우선 과제이다.

원리와 목적

지자기는 方向과 크기(강도)를 가진 벡터量이다. 어떤 장소의 지자기는 偏角(declination, D), 伏角(inclination, I), 全磁力(total force, F), 또는 水平分力(horizontal component, H)의 3요소로 표현할 수 있다. 이것들을 지자기 3요소로 부르고 있다. 편각과 복각은 지자기의 방향을, 전자력은 지자기의 강도을 결정한다. 지자기는 지역에 따라 다르며, 같은 지역에서도 일정하지 않은 불규칙한 시간적변동을 하고 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 지자기변동에는 주기가 짧은 것에서 긴 것에 이르기까지 여러가지 성분이 포함되어져 있지만, 그것들 중에서도, 10년이상 경과하여 처음으로 변화가 현저해지는 듯한 완만한 지자기변동을 地磁氣永年變化(geomagnetic secular variation)라고 한다. 동일 지점에서 지자기관측이 연속적으로 행해진 가장 오래된 기록은, 영국 런던의 그리니치에서 16세기후반에 시작한 관측이므로, 이보다 이전의 지자기변동을 알기 위해서는, 소토나 암석의 殘留磁化를 이용하는 古地磁氣·考古地磁氣學에 의하지 않으면 안된다.

흙이나 암석에는, 磁鐵鑛(Fe_3O_4, magnetite), 赤鐵鑛(Fe_2O_3, hematite)등의 자석이 될 수 있는 磁性鑛物이 1~3%정도 포함되어져 있다. 이들 자성광물은 가열되어져 퀴리점(Curie Temperature)이라 불리는 그 광물 고유의 온도에 도달하면 자성을 잃어버린다. 자철광의 퀴리점은 578℃, 적철광은 675℃이다. 이것들이 고온의 無磁化狀態에서 地球磁場(지자기)중에서 냉각되어져 퀴리점까지 온도가 내려가면, 磁化를 가지기 시작하여, 常室溫까지 온도가 내려갔을 때에는, 그 당시의 지자기방향과 같은 방향으로 磁化를 취득한다. 이것을 熱殘留磁化(thermo-remanent magnetization, TRM)라고 한다. 열잔류자화는 자기적으로 상당히 안정되어 있으며, 거듭해서 퀴리점 가까운 온도까지 가열되지 않는한, 취득한 잔류자화의 방향과 강도를 保持하고 있다. 따라서, 과거의 어떤 시기에 구워진 소토는, 그 소토가 마지막으로 구워졌을 당시의, 그 장소의 지자기 방향을 열잔류자화로서 기록하고 있는 것이 된다. 다양한 시대의 소토를 고고지자기 시료로서 채취하여, 그 잔류자화를 측정하여 연대순으로 나열하면, 과거 지자기변동의 상황을 알 수 있다. 이와 같이, 고고학과 관련한 유적에서 시료를 채취하여, 고고학에서 취급하고 있는 시기의 지자기변동을 해석하는 연구를 考古地磁氣學(archaeomagnetism)이라고 한다.

일본에서는, 北陸·東海지방에서부터 九州북부에 이르는 서남일본 각지에서, 150기 이상의 유구에 대해, 정력적으로 고고지자기학적 연구가 행해진 결과, 서력기원(弥生時代中期中頃)이후 지자기변동의 상세한 상황이 밝혀져, 과거 2000년간의 고고지자기영년변화곡선이 만들어져 있다(Hirooka, 1971 ; 廣岡, 1977). 그러나, 우리나라에는 고고지자기영년변화곡선이 아직까지 작성되어 있지 않기 때문에, 어쩔 수 없이, 지리적으로 가장 가까운 일본의 곡선을 대용하여 소토의 지자기연대를 추정하고 있다. 그 때문에, 추정된 연대값에는 지자기의 지역차에 의한 오차가 포함되어져 있을 수 있다. 우리나라에서 고고지자기년대법을 올바르게 이용하기 위해서는, 우리나라 과거의 지자기변동을 나타내는 고고지자기 영년변화곡선을 작성하지 않으면 안된다. 고고시대의 지자기변동을 나타내는 고고지자기 영년변화곡

선을 일단 완성해 두면, 반대로, 잔류자화의 방향으로 부터 소토의 연대를 추정할 수가 있다. 고고학적으로 연대추정이 불가능한 소토의 연대가 알 수 있게 되는 등, 고고유적의 편년에 유력한 하나의 수단이 된다.

시료의 채취와 자화의 측정

고고지자기 시료의 채취법은, 우선 유구 바닥의 잘 구워진 부분을 골라, 소토를 고고지자기 시료 채취용 칼로 깍아서, 18mm×18mm×25mm정도 크기의 기둥모양으로 잘라낸 후, 물에 갠 석고를 넣은 시료채취용의 플라스틱 케이스를 기둥모양 소토에 뒤집어 씌우는 방법으로 채취하였다. 이 때, 기둥모양의 소토가 부러지거나 기울어지지 않고, 소토의 뿌리 부분이 유구에 붙어있는 그대로의 상태가 유지되도록 주의한다. 석고가 굳어지면, 플라스틱 케이스 背面의 최대 경사선의 방위(pitch)와 그 경사각(dip)을 측정하여, 시료의 방위로 한다. 큐브의 背面에는, 그 면의 走向(strike)을 나타내는 선과 시료의 번호를 적은 후, 유구로 부터 시료를 떼내어 비닐봉투에 넣어, 밀봉한다. 보통, 1기의 유구로 부터 이와 같은 시료를 15개전후로 채취하여 연구실로 가지고 가서, 큐브의 開口部도 석고로 막아서 측정용 시료로 한다.

시료의 잔류자화방향의 측정은 일본 島根大學의 Shonstedt社의 spinner磁力計(Model SSM-1A)와 富山大學의 夏原技研製의 ring core型 spinner磁力計(SMM-85型)를 이용하여 측정하였다. 또한 불안정한 자화성분을 제거하는 段階交流消磁實驗에는, 夏原技研製의 交流消磁裝置(DEM-8601C)를 사용하였다. 자화측정결과로 부터 각유구의 평균 자화방향 및 자화의 분산정도를 구하는 통계계산에는, Fisher(Fisher, 1953)의 통계법을 이용하였다.

자화의 측정결과

측정결과가 정리된 고고지자기 데이터 중, 本稿에서는 28점의 데이터를 소개한다. 우리나라 남부지방을 중심으로 하여 소토를 가진 28기의 유구로 부터 734개의 시료를 채취하여 얻어진 결과이다. 표 1에 각 유구의 고고지자기 측정결과를 정리하였으며, 표 1을 Schmidt의 等積 stereo投影圖에 plot한 것이 도 1이다. 비교를 위해, 과거 2000년간의 서남일본의 고고지자기 영년변화곡선(廣岡, 1977)을 실선으로 표시하고 있다. 도면에서 원 중간의 +印이 유구 각각의 평균 자화방향을, 그것을 둘러싸고 있는 점선의 원이 Fisher의 신뢰각(α_{95})을 나타내는 것으로, 이 원안에 95%의 확률로 진실의 자화방향이 포함되어져 있음을 의미한다. 검은 동그라미에서 가장 가까운 영년변화곡선의 부분에 垂線을 그어 내렸을 때, 그 교점의 연대가 고고지자기학적으로 추정되는 소토의 연대가 된다. 또한, α_{95}의 원으로 덮혀지는 곡선의 선분의 길이가 추정연대의 연대폭(오차범위)이 된다.

고 찰

주거지상면의 현지소성

우리나라에서는 平滑하고 단단한 적갈색토를 상면으로 하는 주거지가 장기간에 걸쳐 다수 확인되고 있다. 지금까지 이러한 상면은 그 외견상으로 보아 그 장소에서 구워진 것이라고 해석되어져 왔으나, 과학적인 근거는 없었다. 경산시 임당동주거지에서 채취한 시료를 측정한 결과에 의하면, 燒成床面이 한방향의 강한 잔류자기를 가지고 있는 점을 통해, 이러한 상면은 그 장소에서 구워졌으며 온도도 상당히 높았음을 확인할 수 있었다.

소토의 소성년대 비교

경산시 임당동유적의 6기의 주거지는 잔류자기 방향(도1의 1~6) 에서 1, 2, 5, 6과 3, 4의 2개의 그룹으로 분류가능하다. 같은 그룹내에서는 방향이 근접하고 있기 때문에, 거의 같은 연대라고 생각되지만 다른 그룹과의 사이는 거리가 떨

도	유구	고고학적 추정년대	I	D	K	α_{95}	n/N	소자자장 (mT)
	경산시임당동유적							
1	1호주거지	3C말~4C초	53.39	13.03	2169	1.11	9/28	10
2	2호주거지	3C말~4C초	53.51	11.66	3998	0.95	7/30	20
3	5호주거지	3C말~4C초	48.19	1.94	463	2.25	10/30	20
4	12호주거지	3C말~4C초	43.84	3.18	1783	1.22	9/44	10
5	15호주거지	3C말	52.10	15.50	2748	0.92	10/25	0
6	44호주거지	3C말	50.62	17.20	1438	1.36	9/35	0
	김해시능동유적							
7	1호토기요지	5C~6C	47.22	-16.32	1598	0.62	34/39	0
8	2호토기요지	5C~6C	45.58	-14.28	2016	1.34	7/20	0
9	1호와요지	불명	41.77	1.62	2902	0.71	15/22	0
	경주시손곡동유적							
10	2호토기요지	5C~6C	44.13	-2.03	1536	1.41	8/14	10
11	3호토기요지	5C~6C	46.77	-5.49	1761	1.09	11/20	10
12	4호토기요지	5C~6C	44.94	-1.73	1481	1.74	6/20	30
13	14호토기요지	5C~6C	43.33	-6.14	1358	1.40	9/20	10
14	15호토기요지	5C~6C	41.54	-5.04	1311	1.33	10/25	10
15	16호토기요지	5C~6C	47.08	-8.96	1668	2.25	4/22	10
16	17호탄요	불명	50.34	24.45	815	1.29	16/23	10
17	23호탄요	불명	48.79	25.80	1610	0.86	18/22	10
18	36호탄요	불명	51.24	11.60	2545	1.10	8/20	10
	진안군월계리유적							
19	2호와요지	7C말	62.44	-13.62	2817	0.65	18/40	0
20	청양군관현리와요지	7C후반	61.61	-9.70	1839	1.00	12/25	0
	여천시화장동유적							
21	1호와요지	8C초	56.16	-14.49	8072	0.75	6/25	10
22	2호와요지	8C초	51.78	-4.92	1416	1.78	6/25	30
	익산시미륵사지내							
23	반지하식와요지	8C말~9C초	48.76	-19.14	1748	1.83	5/19	10
24	고려시대와요지	1317년	55.64	3.50	2241	1.09	9/20	10
25	익산시왕궁리소토유구	불명	46.31	-3.23	1467	1.19	11/32	10
	산청군방목리유적							
26	1호자기요지	15C~16C	44.17	1.48	3122	0.92	9/16	10
27	2호자기요지	15C~16C	44.15	3.46	3038	0.54	24/41	10
28	3호자기요지	15C~16C	44.35	2.88	1041	0.90	25/30	10

표1. I : 平均伏角 D : 平均偏角 K : Fisherの信頼度係數 α_{95} : 95%誤差角
n/N : 採用試料數/採取試料數.

어져있기 때문에 연대적인 차이가 있는 것으로 생각된다. 일본의 지자기변동 경향을 임의의 척도로하여 적용시켜 보면, 전자는 후자보다 약 50년이상 빠를 것으로 추정할 수 있다.

경주시 손곡동유적에서 조사된 측구를 가진 독특한 형태의 탄요는 출토유물이 없는 관계로 고고학년대를 추정할 수 없다. 도1의 16, 17, 18은 손곡동유적 탄요의 잔류자기 방향이다. 이것들은 각각 방향이 근접한 16, 17과 18의 두그룹으로 분류할 수 있다. 도1의 18(36호)은 임당동

주거지의 잔류자기 방향(도1의 1, 2, 5, 6)과 중복되기 때문에, 임당동주거지와 같은 시기의 것으로 추정할 수 있다. 또한, 이들 유구는 중복관계를 통해 36호(도1의 18)는 23호(도1의 17)보다 늦은 시기에 형성되었음을 알 수 있고, 17호(도1의 16)는 적어도 5세기대의 토기요지보다 빠른 시기의 것임을 알 수 있다. 이상에서 볼 때, 손곡동유적 탄요의 지자기년대를 일본의 영년변화곡선에 적용할 때 얻어지는 ~300년경이라고 하는 고고지자기년대치는 꽤 신뢰성이 있다고 생각되어진다.

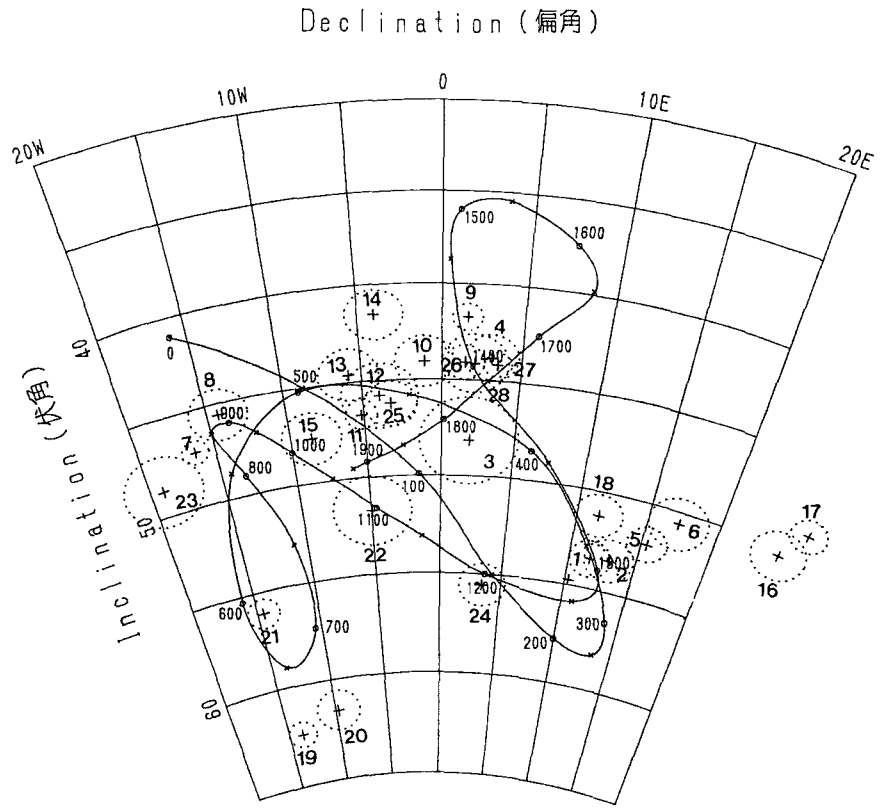
이와같이 우리나라에서는 상세한 지자기영년변화곡선이 없어 아직 정확한 지자기 연대치는 구할 수 없지만, 소토의 잔류자기 방향을 이용한 소성년대를 비교검토하여 다른 방법으로는 얻을 수 없는 귀중한 고고학적 정보를 얻을 수 있다.

우리나라 지자기영년변화곡선의 개형

각 유적의 고고학적 추정년대가 신뢰가능하다고 할 때, 아래 데이터의 평균위치를 곡선으로 연결해 보면, A.D. 3C~6C및 A. D. 7C~9C의 우리나라 지자기영년변화곡선의 개형을 예상해 볼 수 있다.

3C~6C : 손곡동 탄요(도1의 16, 17) (도1의 18) - 임당동 주거지(도1의 1, 2, 5, 6) (도1의 3, 4) - 손곡동 토기요지(도1의 10~15)

7C~9C : 월계리 와요지(도1의 19) 관현리 와요지(도1의 20) - 화성동 1호와요지(도1의 21) -



도1. 우리나라의 고고지자기 측정결과

1-28은 표1에 대응한다.

곡선은 廣岡公大에 의한 과거 2000년간의 서남일본의 지자기영년변화곡선이다.

미륵사지유적내 와요지(도1의 23)

우리나라 지자기영년변화곡선을 개형을 일본의 곡선과 비교하면, 대략적인 형태는 비슷하나 세부적으로 차이가 나며 시기에 따라 방향이 상당히 다르고 연대도 차이가 난다. A. D. 5C~6C에서는 일본의 곡선과 상당히 닮았고 연대도 비슷하지만, A.D. 3C~4C에서는 우리나라의 편각이 ~25度E로 현저하게 동쪽으로 치우쳐 있어 일본의 지자기 변동범위를 크게 벗어나 있는 것이 주목된다. A. D. 7C~9C에서는 형태는 닮았지만, 일본에 비해서 우리나라의 복각이 약 5度 깊어 지며, 편각은 약 5度 서쪽으로 치우쳐 있음을 알 수 있다.

이것을 통해 유물이 출토되지 않아 연대를 알 수 없는 유적에서 검출되는 소토를 이용하여 유적의 대략적인 연대치를 추정할 수 있기 때문에 고고학 연구에 있어서는 대단히 귀중한 자료라고 알 수 있다.

앞으로의 과제

측정결과가 정리된 우리나라의 고고지자기 데이터 중, 本稿에서는 일부를 소개하였다. 아직 데이터가 부족하지만, 이를 근거로 우리나라 지자기영년변화 곡선의 A.D. 3~9세기의 개형을 예상해 볼 수 있었으며, 일본의 곡선과 비교할 때 대략적인 형태는 비슷하나 세부적으로 차이가 있음을 알 수 있었다. 지리상으로 가장 가까워 우리나라 지자기년대측정을 행할 때 準用하고 있는 일본의 지자기영년변화곡선은 10년이상에 걸쳐 축적된 자료를 근거로 만들어졌다. 그만큼 많은 자료와 시간의 축적을 요하는 작업임을 알 수 있지만, 다행이도 최근 우리나라에서는 국토개발에 동반하여 유적발굴이 활발하게 진행되고 있어 그 시간이 많이 단축될 것으로 생각된다. 가까운 시일안에 우리나라 지자기 변동의 모습이 상당 부분 밝혀질 수 있을 것으로 예상하며, 다양한 시기의 자료축적을 통해 하루 빨리 우리나라에서도 고고지자기년대법이 실용화 될 수 있기를 기대해 본다.

감사의 글

본 연구를 수행함에 있어 고고지자기 시료의 채취와 분석의 기회를 주신, 경산시 임당동유적, 김해시 능동유적, 경주시 손곡동유적, 진안군 월계리유적, 청양군 관현리와요지, 여천시 화장등유적, 익산시 미륵사지내 와요지, 익산시 왕궁리유적, 산청군 방목리유적(표1의 번호순)의 발굴조사 관계자 여러분들께 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

成 亨美. 2000. 한국에 있어서 고고지자기변동의 측정과 고고학적 응용, 고고학이 찾은 선사와 가야, 국립김해박물관・부산광역시립박물관복천분관, 128-132.

成 亨美, 廣岡公夫. 2000. 韓國の考古地磁気變動に關する研究とその考古學的応用, 考古學と自然科學 (日本文化財科學會誌), 第39, 15-32.

廣岡公夫, 成 亨美. 2000. 日本と韓國の古代における地磁氣永年變化の比較, 研究年報,第25卷, 富山大學環日本海地域研究センター.

廣岡公夫. 1977. 考古地磁氣および第四紀古地磁氣研究の最近の動向, 第四紀研究, vol.28, 69-78.

伊藤晴明, 井 銑, 時枝克安. 1995. 檢丹里遺蹟横口付窯址の考古地磁氣法による年代測定,蔚州 檢丹里遺蹟, 釜山大學校博物館 研究總書 第17輯, 460-468.

伊藤晴明, 時枝克安, 井 銑, 金 英道. 1998. 千軍洞遺跡の横口付4號窯跡と用途不明7號遺構焼土の考古地磁氣測定結果, 慶州千軍洞避幕遺蹟, 國立慶州博物館・國立慶州文化財研究所, 411-420.

Aitken, M. J. 1974. Archaeomagnetism, in 'Physics and Archaeology', 2nd edition, Clarendon Press, Oxford, 135-186.

Fisher, R. A. 1953. Dispersion on a sphere, Proceedings of Royal Society of London, Series A, vol. 217, 295-305.

Hirooka, K. 1971. Archaeomagnetic study for the past 2,000 years in Southwest Japan, Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ., Ser. Geol. Mineral., 38, 167-207.