동아시아의 겨울철 일평균 기온 변화에 나타난 계절 내 변동의 군집분석에 의한 지역 분류

박병익

서울대학교 지리교육과

(2017년 3월 9일 접수, 2017년 3월 25일 수정, 2017년 3월 27일 게재 확정)

Regional Classification of Intra-seasonal Fluctuations Appeared in Wintertime Daily Mean Temperature Change in East Asia by Cluster Analysis

Byong-Ik Park

Department of Geography Education, Seoul National University

(Received 9 March 2017, Revised 25 March 2017, Accepted 27 March 2017)

Abstract : In this study, the intra-seasonal fluctuation (ISF) of wintertime temperature change in East Asia was classified by a cluster analysis of complete linkage. A ISF of temperature change was defined as a difference of synthesized harmonics (1 to 36 harmonic) of daily temperature averaged for 30 years (1951-1980, 1981-2010). Eight clusters were gained from the ISF curves of 96 stations in East Asia. Regions of the cluster C, G and A1 seem to be affected by the Siberian High (SH) center, whereas the cluster A1, A2, D, B and F by the SH main pathways. Regions of the cluster E are apart from the SH main pathways and appear to be in the area of influence of other factors. Wintertime temperatures in Northwest China (clusters C, G) and Northeast China (cluster A1) were increased very largely. In most clusters, around late January there were less warming periods than the winter mean of the mean ISF of the clusters, before and after this time there were more warming periods than the winter mean.

Key Words : intra-seasonal fluctuation, patterns of intra-seasonal fluctuation, wintertime temperature change, cluster analysis, East Asia

주요어 : 계절 내 변동, 계절 내 변동 유형, 겨울철 기온변화, 군집분석, 동아시아

1. 서론

겨울철의 계절평균 및 월평균 기온의 변화특성과 이에 영향을 미치는 대기 순환 특성에 관한 연

구는 한국, 일본과 중국에서 많은 연구자에 의해 이루어져왔다. 동아시아에서 장기간의 관측이 이루어진 곳이 주로 대도시였으므로 계절평균, 월평균 기온의 변화는 필연적으로 도시화의 영향을

받았으므로, 이에 대한 인식과 이를 제거하려는 노력이 있어왔다(Fujibe, 1995; Kim *et al.*, 2000; Choi *et al.*, 2003; Zhou *et al.*, 2004 등 참조). 이를 감안하여 지구온난화 시대에 각 지역의 기후변화 양상을 파악하려는 노력이 동아시아에서 이루어져 왔다(Chen *et al.*, 1991; Hulme *et al.*, 1994; Yatagai and Yasunari, 1994; Wang and Gong, 2000; Wang and Gaffen, 2001; Jung *et al.*, 2002; Hu *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2004; Schaefer and Domroes, 2009; Jeon and Cho, 2015 등 참조).

일상생활에 대한 영향으로는 평균기온의 변화보다 단기간의 기온변동이 더 크다고 알려졌다. 특히 기온의 급격한 하강을 한파(cold surge, cold wave)라고 하는데, 이에 대한 연구가 한국, 중국, 일본에서 많이 이루어져 왔다. 한파의 출현특성(Zhang *et al.*, 1997; Chen *et al.*, 2004; Ding *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2014; Jeon and Cho, 2015; Ou *et al.*, 2015 등), 한파 출현에 영향을 미치는 대기 순환 특성 및 이 특성에 의한 한파의 분류(Jeong and Ho, 2005; Park *et al.*, 2011a; 2011b; 2015; Kuang *et al.*, 2014; Ou *et al.*, 2015 등) 등에 관한 연구가 현재에도 많이 이루어지고 있다.

지구온난화로 인해 극한기후의 발생빈도에 변화가 있었다는 IPCC의 보고(IPCC, 2013) 이후 극한기후에 대한 연구가 한국, 일본, 중국 등 동아시아에서 널리 이루어져 왔다(Zhai and Pan, 2003; Choi, 2004; Griffiths *et al.*, 2005; Fujibe *et al.*, 2007; Choi *et al.*, 2009; Kuang *et al.*, 2014; Min *et al.*, 2015; He and Wang, 2016 등). 특히 한국에서 이루어진 극한기후 및 극한기상 연구의 리뷰(Min *et al.*, 2015)는 향후 연구에 많은 도움이 될 것이다.

동아시아의 겨울철 기후에서 계절보다 짧은 시간의 변동에 대한 연구는 그리 많지 않은 듯하다. Gong and Ho(2004)는 겨울철 일평균 기온의 평

년값에 이동평균을 적용하여 얻어진 연주기 곡선에 대한 편차를 계산, 이 편차의 겨울철(11월 1일~3월 31일, 151일)에 대한 분산을 동아시아의 여러 관측지점에 대해 구하였다. 계절 내 분산은 중국의 북동부와 북서부에서 크고 내륙에서 작았으며, 시계열로는 점차 감소하고 있었다. 계절 내 분산이 감소한다는 것은 기온의 일일변동이 감소한다는 것을 의미하므로 동아시아의 대부분의 지역에서 한파의 출현빈도가 점차 감소한다는 기존 연구와 일치하고 있다(Ding *et al.*, 2009).

Choi(2015)는 겨울철 우리나라 61개 지점에 대해 평균한 일최고기온과 일최저기온의 일차 추세선에서 겨울철의 전반기와 후반기에 뚜렷한 차이가 나타나고, 이런 차이는 한랭일과 한랭야의 추세선에서도 나타나고 있음을 밝혔다. Park(2011)은 서울의 일평균기온에서 구한 1941~1970년, 1971~2000년의 일별 30년 평균값에서 기온이 많이 상승한 기간(12월 27일~1월 20일)과 적게 상승한 기간(1월 21일~2월 9일)이 존재하며, 이는 시베리아 고기압과 알류산 저기압의 강도 변화와 밀접한 관련이 있음을 밝혔다. 근래(2003~2012년)에 겨울철 최저기온이 1월 초순에 나타나 위의 결과와는 다르게 나타난다는 연구도 있다(Moon *et al.*, 2014).

우리나라 겨울철 기온 변화의 계절 내 변동이 시베리아 고기압 강도와 알류산 저기압 강도의 변화와 관련이 크다면 알류산 저기압의 영향이 적은 중국에서는(Hu *et al.*, 2015) 어떻게 보일지 그리고 알류산 저기압의 영향이 우리나라보다 클 것으로 예상되는 일본에서는 어떻게 나타날까? 이러한 의문을 풀기 위해서는 동아시아의 많은 관측지점에 대해 Park(2011)의 연구와 같은 방법을 적용하여 살펴볼 필요가 있다.

이 연구에서는 동아시아에서 겨울철(11월 1일~3월 31일)¹⁾ 일평균 기온의 변화(주로 상승)의 계

절 내 변동이 지역적으로 어떻게 나타나며 그 특성은 어떤지를 살펴보는 것을 연구 목적으로 한다. 이 연구에서 살펴볼 동아시아는 한국(남한), 일본, 중국을 의미하며 북한, 몽골 등은 1951~1980년의 30년 평균 계산에 21년 이상의 자료가 있지 않아서 포함되지 않았다.

2. 연구자료 및 방법

이 연구에서 사용한 자료는 다음과 같다. 먼저 동아시아의 일평균기온 자료는 daily GHCN (Global Historical Climatology Network)에서 얻었다. 동아시아의 관측지점은 수 백 곳이 넘었으나 1951년부터 2015년까지의 기간 동안 충분히 많은 자료가 있는 곳은 100지점이 넘지 않았다. 이중 1951~1980년, 1981~2010년의 각 30년 동안 관측 자료가 21년 이상이 되는 곳을 살피니 총 96지점

이 되었다(Table 1과 Figure 1). 한국에서는 서울 1지점, 일본에서는 6지점, 중국에서 89지점이 선택되었다. 이 결과 중국 북부지역과 몽골 지역에 관측소가 거의 없고 한국과 일본에도 상대적으로 관측소 수가 적어 공간 클러스터 분석에는 다소 취약점이 있을 수 있다.

연구방법은 다음과 같다. 먼저 각 지점에 대해 1951~1980년과 1981~2010년의 각 30년에 대해 평균한 일평균 기온 365개에 조화분석을 적용(조화분석에 대해서는 Park, 2011; Jin and Park, 2015 참조), 제1~제36²⁾ 조화파의 합성파를 구하였다. 1981~2010년의 합성파에서 1951~1980년의 합성파를 뺀 값들은 기온변화의 계절 내 변동을 의미한다. 동아시아의 96개 지점의 계절 내 변동에 상관계수에 의한 군집분석을 적용하여 계절 내 변동 유형을 구한다. 그리고 계절 내 변동 유형의 특성을 살펴본다.

Figure 1. Geographical distribution of 96 stations (with numbers in Table 1) used in this paper. Thick solid lines with numbers (3,000 and 4,500) show the smoothed contour around the Tibet Plateau (unit meters).

Table 1. List of the Station used in this paper.

No	Station Name	WMO No.	Lat.(°N)	Lon.(°E)	Elev. (m)	No	Station Name	WMO No.	Lat.(°N)	Lon.(°E)	Elev. (m)
1	Hailar	50527	49.25	119.70	650	49	Lijing	56651	26.83	100.47	2394
2	Nenjiang	50557	49.17	125.23	243	50	Tengchong	56739	25.12	98.48	1649
3	Bugt	50632	48.77	121.92	739	51	Chuxiong	56768	25.02	101.52	1820
4	Keshan	50658	48.05	125.88	237	52	Kunming	56778	25.02	102.68	1892
5	Qiqihar	50745	47.38	123.92	148	53	Simao	56964	22.77	100.98	1303
6	Harbin	50953	45.75	126.77	143	54	Mengzi	56985	23.38	103.38	1302
7	Jixi	50978	45.28	130.95	234	55	Xian	57036	34.30	108.93	479
8	Qitai	51379	44.02	89.57	794	56	Zhengzhou	57083	34.72	113.65	111
9	Yining	51431	43.95	81.33	664	57	Hanzhong	57127	33.07	107.03	509
10	Wulumuqi	51463	43.80	87.65	947	58	Guanghua	57265	32.38	111.67	91
11	Turpan	51573	42.93	89.20	37	59	Xinyang	57297	32.13	114.05	115
12	Kuqa	51644	41.72	82.95	1100	60	Nanchong	57411	30.80	106.08	310
13	Kashi	51709	39.47	75.98	1380	61	Enshi	57447	30.28	109.47	458
14	Hami	52203	42.82	93.52	739	62	Yichang	57461	30.70	111.30	134
15	Dunhuang	52418	40.15	94.68	1140	63	Wuhan	57494	30.60	114.05	34
16	Jiuquan	52533	39.77	98.48	1478	64	Chingqing	57516	29.58	106.47	416
17	Wushaoling	52787	37.20	102.87	3044	65	Youyang	57633	28.83	108.77	665
18	Lanzhou	52889	36.05	103.88	1518	66	Changde	57662	29.05	111.68	35
19	Hohhot	53463	40.82	111.68	1065	67	Changsha	57679	28.20	113.08	46
20	Yinchuan	53614	38.47	106.20	1112	68	Bijie	57707	27.30	105.23	1511
21	Yulin	53646	38.23	109.70	1058	69	Zunyi	57713	27.70	106.88	845
22	Taiyuan	53772	37.78	112.55	779	70	Zhijiang	57745	27.45	109.68	273
23	Yanan	53845	36.60	109.50	959	71	Jian	57799	27.12	114.97	78
24	Anyang	53898	36.05	114.40	64	72	Guiyang	57816	26.58	106.73	1223
25	Pingliang	53915	35.55	106.67	1348	73	Lingling	57866	26.23	111.62	174
26	Mudanjiang	54094	44.57	129.60	242	74	Xingren	57902	25.43	105.18	1379
27	Tongliao	54135	43.60	122.27	180	75	Guilin	57957	25.33	110.30	174
28	Siping	54157	43.18	124.33	167	76	Ganzhou	57993	25.87	115.00	138
29	Changchun	54161	43.90	125.22	238	77	Bengbu	58221	32.95	117.37	22
30	Chifeng	54218	42.30	118.83	567	78	Nanjing	58238	31.93	118.90	15
31	Jinzhou	54337	41.13	121.12	70	79	Shanghai	58367	31.17	121.43	7
32	Shenyang	54342	41.73	123.52	43	80	Anqing	58424	30.53	117.05	20
33	Chengde	54423	40.97	117.92	423	81	Hangzhou	58457	30.23	120.17	43
34	Yingkou	54471	40.67	122.20	4	82	Nanchang	58606	28.60	115.92	50
35	Dandong	54497	40.05	124.33	14	83	Quxian	58633	28.97	118.87	71
36	Beijing	54511	39.93	116.28	55	84	Shaoguan	59082	24.67	113.60	68
37	Dalian	54662	38.90	121.63	97	85	Baise	59211	23.90	106.60	177
38	Huimin	54725	37.50	117.53	12	86	Wuzhou	59265	23.48	111.30	120
39	Jinan	54823	36.60	117.05	169	87	Guangzhou	59287	23.22	113.48	71
40	Weifang	54843	36.77	119.18	22	88	Nanning	59431	22.63	108.22	126
41	Yanzhou	54916	35.57	116.85	53	89	Haikou	59758	20.00	110.25	24

Table 1. Continued

42	Yushu	56029	33.00	96.97	3717	90	Sapporo	47412	43.07	141.33	26
43	Wudu	56096	33.40	104.92	1079	91	Hakodate	47430	41.82	140.75	43
44	Garze	56146	31.62	100.00	3394	92	Morioka	47584	39.70	141.17	155
45	Songpan	56182	32.65	103.57	2852	93	Nagoya	47636	35.17	136.97	56
46	Chengdu	56294	30.67	104.02	508	94	Tokyo	47662	35.68	139.77	36
47	Yibin	56492	28.80	104.60	342	95	Nagasaki	47817	32.73	129.87	35
48	Xichang	56571	27.90	102.27	1599	96	Seoul	47108	37.57	126.97	87

Source: ghcn-stations.txt from <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/daily>

3. 일평균기온 변화의 계절 내 변동과 그 유형 분류

동아시아의 96개 지점의 중앙에 위치한 정저우³⁾(지점 번호 56, 이하 이를 S56으로 표시함)의 1951~1980년과 1981~2010년의 일평균기온 평년값과 합성파를 Figure 2에, 이들 평년값과 합성파의 차이를 Figure 3에 제시한다. 정저우에서 1981~2010년 평균 기온은 12월 하순에서 3월 초순 사이에 1951~1980년 평균에 비해 많이 상승하였다(Figure 2). 또한 1951~1980년의 12월 하순~2월 초순 사이의 평균에는 약 20일 주기의 변동이 잘 나타나지만 1981~2010년 평균에는 거의 나타나지 않는다. 3월 22일 부근의 기온 하강이 두 평년값에 동시에 나타나는 것은 흥미롭다.

정저우에서 1981~2010년과 1951~1980년의 평년값 차이를 보면 11월 중순과 1월 하순 등의 일부를 제외하면 기온은 전체적으로 상승하였다(Figure 3). 11월 1일에서 3월 31일까지의 기온 변화 평균은 0.96℃이며, 평균보다 기온이 더 많이 상승한 시기는 12월 23일~1월 2일, 1월 30일~3월 16일 등이며, 평균보다 적게 상승한 시기는 11월 12~21일, 11월 28일~12월 22일, 1월 16~29일, 3월 17~31일 등이다. 이들 시기는 합성파의 차이를 기준하여 정한 것이다. 합성파의 차이는 겨울철

기온 변화의 계절 내 변동을 나타내므로 이하 이를 기온 변화의 계절 내 변동이라고 부르기로 한다.

동아시아 96개 지점의 계절 내 변동을 군집분석을 통하여 분류하기로 하였다. 계절 내 변동 사이의 유사도는 상관계수로 측정하였고, 완전연결법(complete linkage) 군집방법을 사용하였다. 군집 분석에서는 이 외에도 워드(Ward)법, 단순연결법, 군중심법, 군평균법 등이 있는데, 종관기후에서의 이들의 특성은 Park(2006)을 참조하기 바란다.

군집 수를 결정하기 위해 군집들이 결합할 때의 군집 간 유사도를 마지막 결합부터 거꾸로 표시하였다(Figure 4). 뒤에서부터 7번째 군집결합과 8번째 군집결합 사이에는 군집 간 유사도의 차이가 뚜렷하게 커지므로 이를 기준으로 8개 군집을 결정할 수 있다. 이들 8개 군집의 텐드로그램은 Figure 5에, 이의 지리적 분포는 Figure 6에 제시한다.

완전연결법에 의한 군집분석으로 구한 8개 군집의 특성을 Table 2에 제시한다. 군집 A는 39개의 지점을 포함하여 이를 2개의 아군집으로 세분하여 총 8개의 군집을 얻었다. 이들 군집들은 적게는 4개 지점, 많게는 23개 지점을 포함한다. 이들 분집에 속하는 지점들은 Figure 6에 제시되었다. 군집 A1은 주로 중국의 동베이 지방과 베이징 동쪽에, 군집 A2는 화북과 화중 지방의 중부와 동부에 분포한다. 군집 B는 한국과 일본에 분포하는데, 도

Figure 2. Daily normals of daily mean temperature of Zhengzhou for 1951-1980 (blue thin line), 1981-2010 (red thin line) and synthesized waves of 1-36 harmonics for each daily normals (blue and red dashed lines, respectively). S56 is indicated the no. in Table 1.

Figure 3. Temperature differences of two daily normals (dashed line) and synthesized harmonics (solid line) of Zhengzhou for 1951-1980 and 1981-2010. Thick dashed line denote the mean differences between synthesized harmonics for the period from 1 Nov. to 31 Mar.. Solid line is defined as a intra-seasonal fluctuation of temperature change.

Figure 4. Decision of number of clusters by the jump of similarities between two clusters just merged.

Figure 5. Dendrogram of 8 clusters. Cluster A is divided into subcluster A1 and A2. No. 67 station is a cluster contain only a station Changsa.

표는 제외된다. 군집 C는 타림 분지의 북부와 티베트 고원 북동부에, 군집 D는 화남지방과 화중지방의 서부에 분포한다. 군집 E는 티베트 고원 동부와 윈난 성 서부지역에, 군집 F는 군집 E와 D 사이에 분포한다. 군집 G는 중국의 북서지방에 분포한다.

이와 같은 군집의 분포는 시베리아 고기압의 평

균적 위치와 이의 이동 방향과 연관이 있는 것으로 보인다. 먼저 시베리아 고기압의 평균적 위치는 북위 40~60°N, 80~120°E의 영역에 대체로 포함되는데(Zhang *et al.*, 1997; Jhun and Lee, 2004; Wang and Chen, 2014 등) 이 영역과 근접한 군집들이 C, G, A1 등이다. 또한 시베리아 고기압의 이동은 평균적 중심지역에서 남동쪽으로 주로 이

Table 2. Features of 8 clusters.

Cluster ID	No. of station	Percent(%)	Mean temperature change(°C)
A1	19	19.8	1.47
A2	20	20.8	0.85
B	6	6.3	0.73
C	4	4.2	1.69
D	23	24.0	0.35
E	6	6.3	0.97
F	5	5.2	0.71
G	12	12.5	1.41
Sum	95	99.0

Figure 6. The distribution of the clusters (showed by large alphabet) classified by a cluster analysis. The station numbers are also showed.

동하며 그 남서쪽과 북동쪽에서도 이동 경로가 나타난다(Ding and Krishnamurti, 1987; Zhang *et al.*, 1997 등). 이들 주요 이동로에 나타나는 군집이 A2와 D이고 군집 A1과 B에서도 일부 이동 경로가 나타난다. 군집 F 지역에서도 일부 이동 경로가 보이며, 군집 E는 이들 이동 경로에서 벗어나 있는 것으로 보인다. 또한 군집 B는 알류산 저기압의 영향을 많이 받는 지역으로 보인다.

1951~1980년 평균에 비해 1981~2010년 평균은 전체적으로 상승하였는데, 특히 중국 북서부에 나타나는 G 군집과 C 군집, 동베이 지방의 A1 군집에서 크게 상승하였고, 중국 남부의 D군집에서 가장 작게 상승하였다(Table 2). 중국의 북동부와 북서부 지역에서 기온 상승이 뚜렷하다는 것은 Chen *et al.*(1991), Wang and Gaffen(2001), Wang *et al.*(2004) 등에서도 지적하고 있다.

4. 계절 내 변동 유형의 특성

각 군집에 속하는 지점들의 기온변화의 계절 내 변동(실선)과 이들의 평균(평균 계절 내 변동, 적색 실선), 그리고 겨울철에 대한 평균 계절 내 변동의 평균(적색 파선)을 Figure 7에 제시하였다. 전체적으로 보면 군집 내 각 지점의 계절 내 변동 곡선들이 유사하여 이들이 군집으로 묶이는 것이 타당한 것으로 판단된다.

군집 A1을 보면(Figure 7a) 11월과 12월 중순 등의 시기를 제외하면 기온은 1951~1980년 시기(전기)에 비해 1981~2010년(후기)에 상승하였다. 평균 계절 내 변동을 중심으로 보면 겨울철 평균 기온 상승에 비해 더 크게 상승한 시기는 12월 하순, 1월 말에서 3월 15일경의 시기 등이 있고 평균보다 작게 상승한 시기는 11월 중순에서 12월 중순, 1월 하순 등이 있다(Table 3). 또한 1월 상순에서 중순, 2월 중순에서 3월 중순의 시기에는 지점의 계절 내 변동 곡선 사이에 차이가 많이 나고 있어 이 현상의 이유를 조사하는 것도 의미가 있을 것이다. 군집 A2의 계절 내 변동(Figure 7b)을 보면 군집 A1의 계절 내 변동과 대체로 유사하여 이 둘이 하나의 군집을 이루는 것이 이해된다. 다만 군집 A1에 비해 2월 하순의 기온 상승이 감소하였고, 계절

내 변동 곡선들 사이의 차이가 1월 상순, 2월 중~하순에 대체로 감소하였다(Table 3).

군집 B를 보면(Figure 7c) 겨울철 평균 기온 상승보다 더 크게 상승한 시기는 12월 하순에서 1월 중순, 2월 중순에서 하순, 3월 중순 등이고, 평균보다 적게 상승한 시기는 12월 중순, 1월 하순에서 2월 초 등의 시기이다(Table 3). 군집 내 지점들 사이의 경도와 위도의 차이가 커서 계절 내 변동 곡선 사이의 차이가 큰데, 특히 1월 중순에서 2월 상순까지의 시기에 차이가 뚜렷하다.

전기에 비한 후기의 기온 상승폭이 8개 군집 중 군집 C에서 가장 크다(Table 2). 겨울철 평균 기온 상승보다 기온이 더 크게 상승한 시기는 12월 하순에서 1월 16일경, 2월 상순에서 2월 중순 등이며 평균보다 적게 상승한 시기는 11월 하순에서 12월 중순, 1월 20일 전후의 시기 등이다(Figure 7d, Table 3). 이 군집의 17번 지점(Wushaoling)은 고도 3,044m에 위치하여 다른 지점과는 다른 환경을 보이며(Figure 1 참조), 이 군집에 늦게 합쳐졌다(그림 생략).

군집 D(Figure 7e)를 보면 평균 계절 내 변동 곡선이 군집 A2와 유사하며 지리적 분포로도 이웃하고 있다(Figure 6). 겨울철 평균 기온 상승보다 더 크게 기온이 상승한 시기는 1월 상순, 2월 상순에

Table 3. MWP and LWP of MISF for a cluster.

Cluster	MWP	LWP
A1	12/21-1/2, 1/28-3/16	11/12-12/20, 1/3-16, 1/21-27
A2	12/25-1/18, 1/29-2/26, 3/3-15	11/1-21, 11/28-12/24, 1/19-28, 3/16-31
B	12/21-1/10, 1/13-21, 2/8-3/2, 3/10-26	11/15-12/17, 12/10-20, 1/22-2/7
C	11/20-22, 12/20-1/16, 1/28-2/23	11/24-12/19, 1/17-27, 2/24-3/3, 3/11-23
D	11/20-12/5, 12/28-1/10, 1/30-2/21, 3/8-15	12/6-27, 1/10-29, 2/23-3/7, 3/16-31
E	12/8-20, 1/14-23, 1/26-2/2, 2/8-17	11/1-15, 11/24-12/7, 12/21-1/1, 3/1-10
F	12/10-17, 12/31-1/10, 2/8-27, 3/12-22	12/18-30, 1/21-29, 2/28-3/11
G	12/21-1/18, 1/28-2/27	11/1-22, 1/19-27, 2/28-3/31

MISF: mean intra-seasonal fluctuation of temperature change for a cluster (red solid line of Figure 7).

MWP (LWP): more (less) warming period than winter mean for MISF.

Figure 7. Intra-seasonal fluctuations (ISF) of stations(thin line) in a) cluster A1, b) cluster A2, c) cluster B, d) cluster C, e) cluster D, f) cluster E, g) cluster F, h) cluster G regions. Thick red solid lines are mean ISF for each cluster, thick red dashed lines are winter mean of mean intra-seasonal fluctuation of each cluster. Dashed line in e) is ISF of Tokyo.

Figure 7. Continued.

서 중순 등이며 평균보다 적게 상승한 시기는 12월 중·하순, 1월 하순, 2월 말에서 3월 초, 3월 하순 등이다(Table 3). 지점 별 계절 내 변동 곡선을 보면 한 지점의 곡선이 다른 형태를 보이는데(Figure 7e의 파선), 이것은 도쿄의 계절 내 변동 곡선으로 지리적으로도 분리되어 있으며(Figure 6) 이 군집에 가장 늦게 결합된다(그림 생략).

군집 E를 보면(Figure 7f) 지점 사이의 계절 내 변동 곡선의 차이가 뚜렷하게 나타나는데, 이 군집에 포함되는 지점들의 지리 환경이 티베트 고원과 그 남쪽의 고원지대(윈난 성 서부 지역)로 구분되는 점과 연관이 있다고 판단된다. 또한 평균 계절 변동 곡선이 다른 군집과는 다른 양상을 보이는데, 가령 다른 군집에서 대체로 12월 하순에서 1월 상순에 걸쳐 기온이 상승하는 데 반해 군집 E에서는 평균보다 작게 상승하였고, 1월 하순에서도 다른 군집과 달리 평균과 비슷하거나 그 이상으로 기온이 상승하고 있다(Figure 7f, Table 3). 이는 기온 변화에 영향을 미치는 대기 순환이 다른 군집과는 다를 수 있다는 것을 의미한다.

군집 F의 평균 계절 내 변동을 보면(Figure 7g) 군집 D의 평균 계절 내 변동과 유사하나 계절 평균에 대한 편차가 조금 작아졌고 11월 상순과 중순, 3월 하순 등에서 다른 편차를 나타내고 있다(Table 3). 또한 각 지점의 계절 내 변동이 대체로 유사한데 이는 이 군집에 속하는 지점들의 지리적 환경이 다른 점을 생각하면 이해하기가 쉽지 않다. 이 군집에 속하는 지점들은 쓰촨 성 서부의 산지에서 남으로 구이저우 성 고원지대, 하이난 성에 이르는 지대에 분포한다. 이 지역들은 겨울에 북부에서 한파가 티베트 고원의 동쪽 산록을 따라 남하하는 길목에 위치한다(Ding and Krishnamurti, 1987; Sumi and Toyota, 1988 등).

군집 G의 평균 계절 내 변동을 보면(Figure 7h), 12월 하순에서 1월 중순, 1월 말에서 2월 하순까지

의 시기에 계절 평균보다 기온이 더 크게 상승하고, 1월 하순에 평균보다 작게 상승한 점이 군집 C와 같다(Table 3). 3월, 12월 상·중순의 경우 군집 G와 군집 C에서 다른 양상을 보인다. 군집 G에 속하는 지점들은 타림 분지 서쪽에서 산시 성에 이르는 지역에 위치하여 기후 특성이 뚜렷하게 차이를 보인다. 이로 인해 지점들의 계절 내 변동곡선 사이에 차이가 큰 편이다.

이상 8개 군집의 계절 내 변동을 살펴보았다. 1월 하순에 대부분의 군집에서 계절 내 변동 곡선이 겨울철 평균에 비해 크게 낮아지고 12월 하순에서 1월 상순 또는 1월 중순까지의 기간, 2월 상순에서 중순까지의 기간에는 상승하고 있다. 군집 C의 경우 이 시기가 약간 빨라지나 변동 곡선이 낮아지는 이 시기의 전후에 변동 곡선이 높아지는 시기가 있다는 점은 모든 군집에서 공통적으로 나타난다. 다만 겨울철 평균에 비해 상승하였는지 하강하였는지를 살펴보면 군집 E만 다른 양상을 보인다.

5. 요약 및 결론

이 연구에서는 동아시아의 96개 지점에 대해 기온변화의 계절 내 변동을 구하고 이를 군집분석으로 지역별로 구분하고, 각 군집의 계절 내 변동의 특성을 살펴보았다. 기온변화의 계절 내 변동은 1951~1980년과 1981~2010년의 30년 평균 일평균 기온에 조화분석을 적용, 제1~제36 조화파의 합성파의 차이로 구하였다. 주요 연구 결과는 다음과 같다.

동아시아의 96개 지점에서 얻은 계절 내 변동은 7개의 군집으로 분류되었고, 이중 군집 A를 A1과 A2로 세분하여 총 8개의 군집이 얻어졌다. 지점수가 많은 군집으로는 A1(19지점), A2(20지점), D(23지점)가 있고 지점수가 적은 군집으로는 군집

C(4지점), F(5지점), B(6지점), E(6지점)가 있다.

이들 군집의 지리적 분포를 보면 군집 C, G와 A1은 시베리아 고기압의 평균적 위치에 가깝고, 군집 A2와 D 지역에는 시베리아 고기압의 주요 이동 경로가 나타난다. 군집 A1, B, F 지역에는 일부 이동 경로가 나타나며 군집 E는 이 이동 경로의 영향을 받지 않는 것으로 보인다.

군집 A1, C, G에서 겨울철 평균 기온 상승이 다른 군집들에 비해 매우 크다. 많은 군집에서 1월과 2월에 기온 상승이 큰데, 특히 군집 C와 G에서 뚜렷하게 나타난다. 다른 군집들에서는 1월 혹은 2월의 기온 상승 시기가 짧게 나타난다.

각 군집에서 지점들의 계절 내 변동 곡선과 이들의 평균 계절 내 변동 곡선을 구하여 살펴보니 군집 내에서는 유사한 변동을 보이며 군집 간에는 상당한 차이를 보인다. 대부분의 군집에서 1월 하순 또는 그 전후에서 계절 내 변동 곡선이 겨울철 평균보다 하강하고 그 전후로 평균보다 상승하고 있다. 군집에 따라 1월 하순 전후의 상승 기간이 조금씩 달라지며, 1월 하순의 하강 시기도 약간씩 앞당겨지기도 하고(군집 C) 크게 하강하지도 않는다(군집 E).

이상을 요약하면 군집분석으로 얻은 8개 군집 내의 계절 내 변동 곡선 사이에 유사성이 있으며 군집이 대체로 지리적으로 연결되어 있어 군집분석을 적용한 것이 타당한 것으로 보인다. 또한 군집의 지리적 분포가 시베리아 고기압의 위치, 이동 경로와 관련성이 있는 것으로 보인다.

이와 같이 동아시아의 계절 내 변동에 유사성이 강하다는 것은 공통의 종관 특성에 영향을 받는다는 것을 의미한다. 각 군집의 계절 내 변동에서 나타나는 기온 변화가 어떤 종관특성과 관련이 있는지를 조사하는 것은 의미가 있고, 이는 Park(2017)의 연구 주제이다.

주

- 1) 동아시아의 겨울몬순은 11월에서 3월까지 탁월한데, 이 시기에 한파(cold surge)가 자주 나타나고 중심기압 1050hPa 이상의 시베리아 고기압도 자주 나타난다(Zhang *et al.*, 1997). 이 연구에서는 겨울 몬순을 감안하여 기온 변화의 계절 내 변동을 살펴보고자 하므로 겨울철을 11월에서 3월로 정하였다.
- 2) 제36 조화파는 주기 10일 이하의 현상을 제거하므로 제1~제36 조화파의 합성은 주기 10일 이상의 현상들을 반영한다.
- 3) 96개 지점의 위도와 경도를 각각 평균한 지점(34.6°N, 112.3°E)에 가까운 지점이다.

참고문헌

- Chen, L., Shao, Y., Dong, M., Ren, Z., and Tian, G., 1991, Preliminary analysis of climatic variation during the last 39 years in China, *Advances in Atmospheric Sciences*, 8(3), 279-288.
- Chen, T.-C., Huang, W.-R., and Yoon, J.-H., 2004, Interannual variation of the East Asian cold surge activity, *Journal of Climate*, 17(2), 401-413.
- Choi, G., 2015, Asymmetric changes in intra-seasonal means and extreme events of winter temperature in the Republic of Korea, *Journal of Climate Research*, 10(2), 137-151 (in Korean).
- Choi, G., Collins, D., Ren, G., Trewin, B., Baldi, M., Fukuda, Y., Afzaal, M., Pianmana, T., Gomboluudev, P., Huong, P. T. T., Lias, N., Kwon, W.-T., Boo, K.-O., Cha, Y.-M., and Zhou, Y., 2009, Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955-2007, *International Journal of Climatology*, 29(13), 1906-1925.
- Choi, Y., 2004, Trends on temperature and precipitation extreme events in Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 39(5), 711-721.
- Choi, Y., Jung, H.-S., Nam, K.-Y., and Kwon, W.-T., 2003, Adjusting urban bias in the regional

- mean surface temperature series of South Korea, 1968-99, *International Journal of Climatology*, 23(5), 577-591.
- Ding, T., Qian, W.-H., and Yan, Z.-W., 2009, Characteristics and changes of cold surge events over China during 1960-2007, *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2(6), 339-344.
- Ding, Y. and Krishnamurti, T. N., 1987, Heat budget of the Siberian high and the winter monsoon, *Monthly Weather Review*, 115(10), 2428-2449.
- Fujibe, F., 1995, Temperature rising trends at Japanese cities during the last hundred years and their relationships with population, population increasing rates and daily temperature ranges, *Papers in Meteorology and Geophysics*, 46(2), 35-55.
- Fujibe, F., Yamazaki, N., Kobayashi, K., and Nakamigawa, H., 2007, Long-term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan, *Papers in Meteorology and Geophysics*, 58, 63-72.
- Gong, D. Y. and Ho, C. H., 2002, The Siberian High and climate change over middle to high latitude Asia, *Theoretical and Applied Climatology*, 72, 1-9.
- Griffiths, G. M., Chambers, L. E., Haylock, M. R., Manton, M. J., Nicholls, N., Baek, H.-J., Choi, Y., Della-Marta, P. M., Gosai, A., Iga, N., Lata, R., Laurent, V., Maitrepierre, L., Nakamigawa, H., Ouprasitwong, N., Solofa, D., Tahani, L., Thuy, D. T., Tibig, L., Trewin, B., VEDIAPAN, K., and Zhai, P., 2005, Change in mean temperature as a predictor of extreme temperature change in the Asia-Pacific region, *International Journal of Climatology*, 25(10), 1301-1330.
- He, S. and Wang, H., 2016, Linkage between the East Asian January temperature extremes and the preceding Arctic Oscillation, *International Journal of Climatology*, 36(2), 1026-1032.
- Hu, C., Yang, S., and Wu, Q., 2015, An optimal index for measuring the effect of East Asian winter monsoon on China winter temperature, *Climate Dynamics*, 45(9-10), 2571-2589.
- Hu, Z. Z., Yang, S., and Wu, R., 2003, Long-term climate variations in China and global warming signals, *Journal of Geophysical Research*, 108 (D19), 4614, doi:10.1029/2003JD003651.
- Hulme, M., Zhao, Z. C., and Jiang, T., 1994, Recent and future climate in East Asian, *International Journal of Climatology*, 14(6), 637-658.
- IPCC, 2013, *Summary for Policymakers, in Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, C.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P. M.(eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jeon, M. J. and Cho, Y., 2015, An analysis of a wintertime temperature change and an extreme cold waves frequency in Korea, *Journal of Climate Change Research*, 6(2), 87-94 (in Korean).
- Jeong, J.-H. and Ho, C.-H., 2005, Changes in occurrence of cold surges over East Asia in association with Arctic Oscillation, *Geophysical Research Letters*, 32, L14704, doi:10.1029/2005GL023024.
- Jhun, J. G. and Lee, E. J., 2004, A New East Asian Winter Monsoon index and associated characteristics of the winter Monsoon, *Journal of Climate*, 17 (4), 711-726.
- Jin, M. J. and Park, S., 2015, Temperature changes of climatic solar terms and their spatiotemporal characteristics in South Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 50(1), 23-36 (in Korean).
- Jung, H.-S., Choi, Y., Oh, J.-H., and Lim, G.-H., 2002, Recent trends in temperature and precipitation over South Korea, *International Journal of Cli-*

- matology*, 22(11), 1327-1337.
- Kim, K.-H., Kim, B.-J., Oh, J.-H., Kwon, W.-T., and Baek, H.-J., 2000, Detection of urbanization effect in the air temperature change of Korea, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 36(5), 519-526 (in Korean).
- Kim, K.-Y., Lee, S., Kim, M.-K., and Cho, C.-H., 2014, Long-term variability of cold surges in Korea, *Asia-Pacific Journal of the Atmospheric Sciences*, 50(4), 519-529.
- Kuang, X., Zhang, Y., and Huang, D., 2014, Changes in the frequencies of record-breaking temperature events in China and its association with East Asian Winter Monsoon variability, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(3), 1234-1248.
- Min, S.-K., Son, S.-W., Seo, K.-H., Kug, J.-S., An, S.-I., Choi, Y.-S., Jeong, J.-H., Kim, B.-M., Kim, J.-W., Kim, Y.-H., Lee, J.-Y., and Lee, M.-I., 2015, Changes in weather and climatic extremes over Korea and possible causes: A review, *Asia-Pacific Journal of the Atmospheric Sciences*, 51(2), 103-121.
- Moon, J. Y., Park, C., and Pyeon, D., 2014, Recent change in the intraseasonal characteristics of winter temperature over South Korea, *Journal of Climate Research*, 9(3), 167-180 (in Korean).
- Ou, T., Chen, D., Jeong, J.-H., Linderholm, H. W., and Zhou, T., 2015, Changes in winter cold surges over Southeast China: 1961 to 2012, *Asia-Pacific Journal of the Atmospheric Sciences*, 51(1), 29-37.
- Park, B. I., 2006, On the classification of water vapor transportation fields of 850hPa surfaces and its characteristics in cases of the heavy rainfall of the South Coastal region of Korea for Changma season, *Journal of Geography Education*, 50, 1-11 (in Korean).
- Park, B. I., 2011, The change of seasonal trend appeared in wintertime daily mean temperature of Seoul, Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 46(2), 152-167 (in Korean).
- Park, B. I., 2017, Synoptic characteristics of intra-seasonal fluctuation patterns appeared in wintertime daily mean temperature change in East Asia, *Journal of Climate Research*, 12(1), 111-131 (in Korean).
- Park, T.-W., Ho, C.-H., Jeong, S.-J., Choi, Y.-S., Park, S. K., and Song, C.-K., 2011a, Different characteristics of cold day and cold surge frequency over East Asia in a global warming situation, *Journal of Geophysical Research*, 116, D12118, doi:10.1029/2010JD015369.
- Park, T.-W., Ho, C.-H., and Yang, S., 2011b, Relationship between the Arctic Oscillation and cold surges over East Asia, *Journal of Climate*, 24(1), 68-83.
- Park, T.-W., Ho, C.-H., Jeong, J.-H., Heo, J.-W., and Deng, Y., 2015, A new dynamic index for classification of cold surge types over East Asia, *Climate Dynamics*, 45(9-10), 2469-2484.
- Schaefer, D. and Domroes, M., 2009, Recent climate changes in Japan - spatial and temporal characteristics of trends of temperature, *Climate of the Past*, 5, 13-19.
- Sumi, A. and Toyota, T., 1988, Observational study on air-flow around the Tibetan Plateau, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 66(1), 113-124.
- Wang, J. X. L. and Gaffen, D. J., 2001, Late-twentieth-century climatology and trends of surface humidity and temperature in China, *Journal of Climate*, 14(13), 2833-2845.
- Wang, L. and Chen, W., 2004, An index for the East Asian winter monsoon, *Journal of Climate*, 27(6), 2361-2374.
- Wang, S. and Gong, D., 2000, Enhancement of the warming trend in China, *Geophysical Research*

- Letters*, 27(16), 2581-2584.
- Wang, S., Zhu, J., and Cai, J., 2004, Interdecadal variability of temperature and precipitation in China since 1880, *Advances in Atmospheric Sciences*, 21(3), 307-313.
- Yatagai, A. and Yasunati, T., 1994, Trends and decadal-scale fluctuations of surface air temperature and precipitation over China and Mongolia during the recent 40 years(1951-1990), *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 72(6), 937-957.
- Zhai, P. and Pan, X., 2003, Trends in temperature extremes during 1951-1999 in China, *Geophysical Research Letters*, 30(17), 1913, doi:10.1029/2003 GL018004.
- Zhang, Y., Sperber, K. R., and Boyle, J. S., 1997, Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: Results from the 1979-95 NCEP/NCAR reanalysis, *Monthly Weather Review*, 125(10), 2605-2619.
- Zhou, L., Dickinson, R. E., Tian, Y., Fang, J., Li, Q., Kaufmann, R. K., Tucker, C. J., and Myneni, R. B., 2004, Evidence for a significant urbanization effect on climate in China, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(26), 9540-9544.
- <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/daily>

책임편집: 허인혜

영문교열: 조창현