

전지구 계절예측 모델의 예측 오차 분석 및 예측성 평가

Assessment of predictability and systematic error of global seasonal forecast model

유진호

전지구 계절예측 모델의 예측 오차 분석 및 예측성 평가

Assessment of predictability and systematic error of global seasonal
forecast model

유진호

발간사

최근 계절규모와 기후변화 전망 중심의 기후예측 연구가 10년 규모 혹은 계절내 예측과 같이 다양한 시간 규모로 확장되어 이른바 이음새 없는 예측(Seamless prediction)을 달성하기 위한 노력이 이어지고 있습니다. 이 가운데 날씨 보다 먼 미래를, 그리고 계절예측보다는 가까운 기간에 대한 예측인 계절내 예측은 사회의 다양한 분야에서 정보 활용의 잠재성이 대단히 큰 분야입니다.

우리나라 기상청을 비롯한 세계의 기상 선진국들에서는 역학적인 수치예보 모형을 이용, 계절내 예측정보를 산출하여 제공하고 있습니다. 그러나 계절내 예측은 일기예보에서 예측 가능성을 좌우하는 초기조건에 영향을 많이 감소하고 계절예측에서 예측 가능한 성분을 도출하는 해양 등의 경계조건에 영향을 뚜렷해지기 이전 시점으로 두 가지 서로 다른 범주의 예측 특성과 한계가 모두 고려되어야 하는 새로운 기술의 개발을 필요로 합니다.

이러한 새로운 기술은 현재 생산 중인 예측 정보에 대한 면밀한 분석과 평가를 바탕으로 이루어지는 것이 바람직하며 이를 위해 본 연구에서는 현재 기상청에서 계절내 예측을 위해 활용 중인 GloSea5 모형의 주(week)별 예측 자료를 분석하여 그 구조적인 오차를 살펴보고 예측 성능을 평가하였습니다. 북반구와 동아시아 지역을 대상으로 한 예측성능 평가 결과 아직까지 3주 이후의 주별 예측에는 많은 개선이 필요함을 확인하였고 이러한 상황에서 현업 월간 예측성 향상을 위해 고려해야 할 사항을 제안하였습니다. 향후 지속적인 계절내 예측성능 향상을 위한 연구가 지속되어 보다 사회적 활용성이 높은 예측 정보가 생산될 수 있기를 기대합니다.

A P E C C L I M A T E C E N T E R

본 연구의 수행을 위해 애쓰신 유진호 박사에게 감사드립니다. 아울러 귀중한 조언을 주신 김형진 박사께도 고마움을 전합니다.

2016년 1월
APEC 기후센터
소장 정진승

ABSTRACT

This study assessed the systematic error and predictability of KMA's global seasonal forecast model (GloSea5). The spatial pattern of systematic error for 500hPa geopotential height forecast has a strong zonally symmetric structure indicating increased meridional temperature gradient, and thus increased zonal wind. The Eddy component of systematic error resembles the circumglobal teleconnection (CGT) pattern with wavenumber-5 structure, which seems to be associated with enhanced convection near the Maritime continent as well as increased extratropical zonal wind. The initial structure of systematic error remains and strengthens with increasing lead time, suggesting that the model's mean biases were determined within a few days of integration.

In the subseasonal time scale, forecast skill is evaluated in terms of TCC (temporal correlation coefficient) and ACC (Anomaly pattern Correlation Coefficient) of the ensemble mean forecast. In general, forecast skill linearly decreases with lead time and it reaches marginal level after three weeks. However, there are large skill differences between the cases and it turns out that there are particular spatial patterns that bear higher forecast skill. These spatial patterns resemble the inverse of systematic error in Pacific North Atlantic sector, and they are unchanged with season during the initial two weeks of forecast. However, after three weeks, consistency drops between the forecasts and observations for relatively well predicted patterns. There are cases when the forecast skill is consistently high up to the fourth week, and these cases tend to occur sequentially. This indicates that the slow varying remote forcing has an impact on the East Asian weekly mean circulation forecast. Nevertheless, there is marginal skill in the weekly mean

forecast for the east Asia region after three weeks. Therefore, it is necessary to consider this skill limitation during operation. In order to increase the skill and utility of KMA's 1 month forecast, it is suggested to modify current operational system to include the first two weeks information and to revisit the contents of the forecast information for non-specified user regarding the current uncertainty of the forecast.

목 차

1. 서론	1
2. 연구 자료 및 방법	4
3. 연구내용	6
3.1 1개월 예측의 구조적 오차	6
3.2 1개월 예측 성능	12
4. 요약 및 토의	25
5. 제언	28
Ⅱ 참고 문헌	31

1. 서론

최근 일기예보, 중·장기 예측, 그리고 기후변화 전망에 이르는 모든 시간 규모에 대한 단일 예측 체계를 말하는 이음새 없는 예측(seamless prediction)이 제안되었다. 그러나 이를 활용하기 위해서는 대기와 지면은 물론 해양 표층과 심층의 다양한 변수들에 대한 초기화 및 이를 구동할 수 있는 상당한 전산 자원의 확보 등이 선결되어야 하며, 더 나아가 개발된 예측 시스템의 예측 오차를 체계적으로 분석함으로써 다양한 시간 규모에 대한 예측성을 사전에 충분히 검증해야 한다. 이러한 선결 조건을 모두 만족시키는 예측 시스템의 개발은 가까운 미래에는 가능하지 않을 것으로 보이나 최근 단기예측과 장기예측을 결합한 S2S(subseasonal to seasonal) 예측에 대한 국제 프로젝트(WMO 2013)가 시작되면서 가능한 범위에서 이음새 없는 예측 체계의 개발을 위한 노력들이 이어지고 있다.

단기예측의 예측성은 대기 초기조건 of 정확도와 날씨 현상을 정확하게 표현할 수 있는 모델의 정확도에 좌우되며(predictability type 1) 중위도 지역에서 대략 1주~2주 정도의 예측성을 갖는다. 이는 중위도 지역의 날씨 현상을 좌우하는 중관규모 기압계(synoptic weather system)의 시간 규모가 그와 유사하거나 조금 더 길기 때문이며, 작은 시공간 규모의 대류활동에 의해 좌우되는 열대지방의 경우 그 보다 짧다. 한편, 1개월 이상의 시간규모에서 기후를 예측하는 장기예측의 경우는 대양 규모에서 천천히 변하는 해수면 온도 변동(엘니뇨 등)에 의해 예측 가능한 성분이 만들어 지는데(predictability type 2), 열대 지역은 해수면 온도의 변동 시간 규모인 수개월~1년 정도의 예측성을 갖는 반면, 열대 해수면 온도 변동의 영향이 대기 요란에 의해 변형되어 나타나는 중위도 지역의 예측가능성은 열대지방에 비해 다소 간에 낮다. 또한 해수면 온도 변화에 대기가 반응하기 위한 시간이 소요되어 해수면 온도에서 비롯된 예측 가능한 성분은 통상적으로 수 주~수개월 지연되어 나타난다.

단기 예측에서 초기조건 of 영향이 감소하는 15일 이후와 해수면 온도와 같은 지표 경계조건 of 영향이 뚜렷해지는 수개월 이후가 되기 전, 그 사이의 계절내(subseasonal) 예측은 예측성을 좌우하는 뚜렷한 인자가 밝혀지지 않아 예측성이 상대적으로 낮은 것으로 이해되고 있다. 그러나 예측정보의 가치는 예측 선행시간이 길고 예측되는 현상의 시공간 규모가 작을수록 커지므로, 계절내 시간 규모에서 일부라도 예측성을 높

일 수 있다면 예측정보의 사회적 활용 측면에서 큰 도움이 될 것이다. 특히 기상재해와 관련된 위험관리 측면에서 높은 가치를 가질 수 있을 것으로 기대하고 있다(White et al., 2015).

전지구 역학모델에 의한 일기예보가 가능해지고 이와 관련한 많은 연구들이 수행되면서 일기예보를 위한 적분 기간을 늘여 2주 이상의 예보를 생산하는 중기(Medium range) 혹은 중장기(Extended range) 예측에 대한 연구가 대기의 저주파 변동성에 관한 연구와 함께 오래전부터 꾸준히 진행되기는 하였으나 (e.g. Miyakoda et al., 1986) 현업 예보 업무는 일기 예보와 1개월 이상의 장기예보를 중심으로 발달해 왔고 MJO와 같은 계절내 변동 모드에 대한 연구 결과가 축적되면서 새로운 가능성을 지닌 예측 범위로 인식되기 시작하여 최근 S2S project와 같이 계절내 규모에서의 예측성의 진단과 향상은 물론 이 성과를 현업 업무로 이전시키기 위한 국제적인 노력이 이어지고 있는 상황이다. 최근의 연구들을 살펴보면 Liu et al. (2014)은 NCEP CFS 예측자료를 이용해 몬순 지수들의 예측성을 평가하였으며 대규모 순환장과 관련이 깊은 지수들의 예측성이 상대적으로 높고 이러한 예측성은 강한 경년변동을 보인다고 하였으며 Newman et al. (2003)과 Pegion and Sardeshmukh (2011)는 중위도 지역의 계절내 예측성에 열대지방 대류활동의 영향이 크다고 분석하였다. 반면 Frame et al. (2013) 등은 초기조건과 중위도 flow regime이 예측성에 미치는 영향을 분석하여 계절내 규모의 예측성은 초기조건에 민감한 일기예보와 경계조건에 민감한 계절예측의 특성을 모두 가지고 있음을 보이고 있다. 그러나 여전히 계절내 예측에 대해서는 예측성을 제공하는 주된 현상과 기후 피드백들에 대한 보다 상세한 이해, 예측 시스템의 구성 및 검증 방법의 정립, 그리고 예측정보의 사회적인 활용 방법 도출 등 해결되지 않은 많은 문제들이 남아있는 상태로(WMO 2015) 실질적인 부가가치를 얻기 위해서는 많은 연구를 필요로 한다.

우리나라 기상청의 1개월 장기예보는 1973년에 처음 발표되었으며 1999년 12월 28일 장기예보용 전지구 역학 모델(GDAPS T106L21)을 활용하여 매 순별 1개월 예보제로 전환되었다(김지영과 이현수 2010). 이와 같은 순별 1개월 예보제는 2014년까지 유지되어오다가 2014년 6월 주단위 예보제로 전환되었다. 아직 계절내 예측에 대해서는 많은 연구가 필요함에도 불구하고 기상청의 현업 순별 혹은 주별 계절내 예측은 상대적으로 일찍 시작되었음을 알 수 있다.

현재는 영국 기상청과 공동으로 개발한 장기예측 모델인 GloSea5(Global Seasonal forecast system version 5; MacLachlan et al. 2015; Kang et al. 2011)를 기반으로 매월 향후 3개월에 대한, 그리고 매주 향후 4주에 대한 예보를 생산하고 있다. 이를 위해 예보관들은 계절예측과 일기 예보에 대한 경험과 지식을 바탕으로 GloSea5 예측결과를 재해석하는데, GloSea5 예측결과의 기후평균 월별·계절별 대규모 순환장의 오차 특성 및 예측성, 주별·월별·계절별 오차 특성 및 예측성, 그리고 오차 특성 및 예측성을 반영한 예보지침 등에 관한 기반정보의 부재로 일관된 장기 예보 생산에 어려움을 겪고 있다. 특히 계절내 예측에 대해서는 아직까지 많은 경험과 지식이 쌓여있지 않은 상황으로 예측정보의 원활한 생산을 위한 지식정보들이 필요한 시점이다.

본 연구에서는 GloSea5 hindcast자료를 이용해 모든 예측에 대해 공통적으로 나타나는 구조적 오차를 도출하여 모델의 전반적인 모의 특성을 파악하고 과거 예측 자료에 대한 검증을 통해 GloSea5 모델이 갖는 예측 성능의 특성을 분석하여 현업 예보 생산 체계의 개선에 도움을 주고자 한다. 2장은 연구 자료 및 방법에 대해 간략히 소개하였고, 3장에서 분석 내용들을 제시하고 마지막 4장에서 분석된 내용을 요약하고 현업업무와의 관련성을 살펴본 후 현업 업무의 개선을 위한 제안을 5장에 기술하였다.

2. 연구 자료 및 방법

기상청에서는 2014년 6월부터 새로운 전지구 계절예측 시스템을 영국기상청(UK Met. Office)과 함께 운영하고 있다. 이 모형은 Met. Office Unified Model(UM)을 대기 모형으로, Joint UK Land Environment Simulator(JULES)를 지면 모형으로, Nucleus for European Modeling of the Ocean(NEMO)를 해양, 그리고 해빙은 Los Alamos Sea Ice Model(CICE)를 처방한 결합 모형이다.

GloSea5의 수평해상도는 대기는 $N213(0.83^\circ \times 0.55^\circ)$, 해양은 0.25° 이며 연직으로는 각각 85층, 75층이다. 이전 버전인 GloSea4에 비해 수평해상도가 약 3배 이상 향상되었다. 모델의 계절예측 모형에서는 온실기체는 2005년의 관측값을 사용하였으며 2005년 이후 시점에 대해서는 IPCC RCP4.5 시나리오를 따라 처방하였고 에어로졸이나 오존 등은 연변화가 있는 기후값으로 처방하였다. Hindcast의 초기조건은 ECMWF의 ERA-Interim(Dee et al. 2011) 재분석 자료 및 해양 자료동화 자료를 사용하였으며 예측 초기조건은 기상청의 4차원 변분자료동화시스템(4-DVAR)에서 생산된 대기조건과 영국기상청이 다른 기관과 함께 생산한 NEMOVAR 자료동화 자료를 해양과 해빙에 처방하였다. 단 토양수분은 hindcast와 forecast 모두 기후값으로 초기화 하였다. 영국의 경우는 ERA-Interim을 JULES 지면모형에 처방한 지면자료동화 자료를 hindcast에 사용하고 forecast에는 그 자료동화의 기후값을 사용한 것과 차이가 난다. 따라서 실제 예측결과의 분석에서는 대기 초기조건의 차이(ERA-Interim vs 기상청 자료동화자료)가 감안되어야 하나 hindcast만을 분석한 본 연구의 범위에는 영향을 미치지 않는다. 다만 토양 수분이 기후값으로 초기화된 것에 의한 초기 중기예보 예측성능의 일부 저하가 예상될 수 있으나 영국에서 생산한 hindcast와의 비교를 통해 그 영향분석이 가능할 것이다. 그러나 GLACE 등 토양 수분이 예측성에 미치는 영향을 분석한 과거 결과들을 감안하면 그 영향은 추후 분석될 본 연구의 결과를 좌우할 정도로 크지 않을 것으로 예상된다.

GloSea5의 hindcast는 1996년부터 2009년까지 총 14년으로 매월 1일, 9일 17일, 25일에 초기화 된 확률적으로 발생시킨 3개의 앙상블 멤버로 구성되어 있으며 각 앙상블별로 7주간의 예측정보를 사용하였다. 이 자료는 현업 예측에서 anomaly를 계산하기 위한 기후값 생성에 쓰이기 위한 자료로 현업 예측에서는 매주 예측이 생산되

는 것을 고려하여 매월 4회 생산되는 예측을 매년 1월 6일부터 시작하는 7일간의 예측 자료로 변환하여 사용하여 매년 52개의 예측 자료를 생산하였다(즉, 1월 6일, 13일, 20일,... 에 각각 시작한 7주간의 예측). 따라서 경우에 따라 실제 모델의 예측 생산 시점(가령 1월 1일)과 만들어진 hindcast 주간 예측 자료의 예측 생산 시점(1월 6일)간 차이가 커질 수 있어 초기의 예측성능이 다소 낮게 추정될 수 있다. 예측의 검증을 위해 hindcast 초기조건으로 사용된 ERA-Interim 자료를 활용하였으며 GloSea5의 해상도($0.83^{\circ} \times 0.55^{\circ}$)로 변환하여 사용하였다.

예측 성능의 평가를 위해서 앙상블 평균된 예측장과 관측장 사이의 격자점 별 시간상 관계수(TCC, temporal correlation coefficient)와 공간상관계수(ACC, Anomaly pattern Correlation Coefficient)를 계산하였고 예측 및 관측의 편차는 해당 예측 일자별 hindcast의 14년 평균값을 기후값으로 정의해 제거하였다.

3. 연구내용

3.1 1개월 예측의 구조적 오차

1개월 예측은 각 주별로 예측을 생산하므로 주 단위로 모델의 오차와 예측성능을 분석하였다. 예측 오차는 예측과 관측의 차이로 정의되며 구조적 오차는 모든 사례에 대해서 예측 선행시간 별로 평균한 것이다. 예측 선행시간이 길어지면 이 구조적 오차는 예측모델의 기후값과 관측 기후값의 차이가 되며, 1개월 예측과 같이 예측 선행시간이 짧은 경우에는 초기조건인 관측 자료에서 모델의 기후상태로 전이하는 기후 표류(climate drift)의 형태를 보여주게 된다. 구조적 오차에 대한 분석은 모델의 일반적인 품위를 평가할 수 있게 하여 모델의 개선 방향을 진단하는데 도움을 주고, 구조적 오차로 인해 발생할 수 있는 2차적인 예측 편차장의 변화 (열대 강수의 과도 모의 경향성에 기인한 원격상관 변화 등)를 짐작할 수 있게 한다.

Fig. 1과 Fig. 2 는 모든 기간, 모든 계절에 대한 예측으로부터 도출한 예측 1주부터 7주까지 500hPa 지위고도의 구조적 오차를 나타낸 것이다. 예측 초기에 나타난 오차의 형태가 큰 변화 없이 7주까지 유지되며 그 크기가 점차 커지는 것을 알 수 있다. 따라서 계절내 예측의 구조적 오차의 형태는 계절예측에서도 그대로 유지될 것임을 유추할 수 있다.

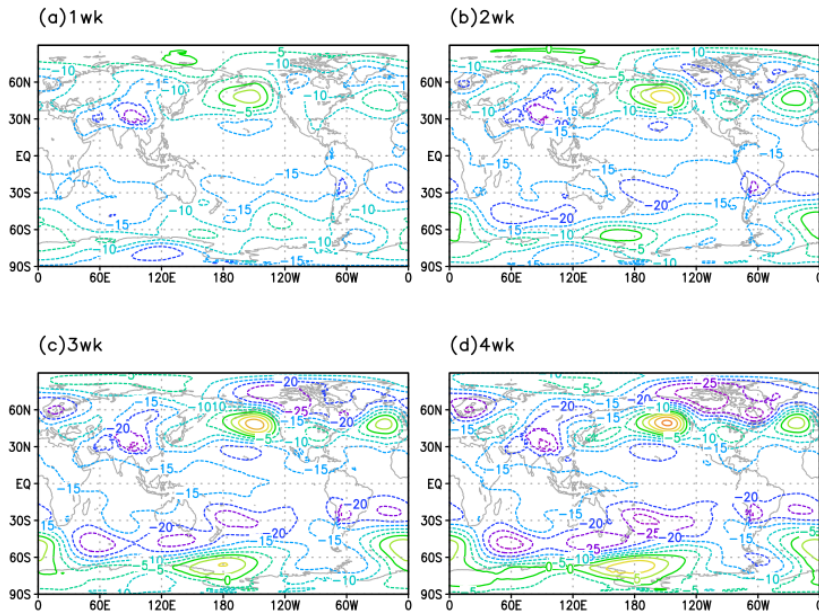


Figure 1 Systematic error of weekly mean forecast of 500hPa geopotential height from the first week (a) to fourth week (d).

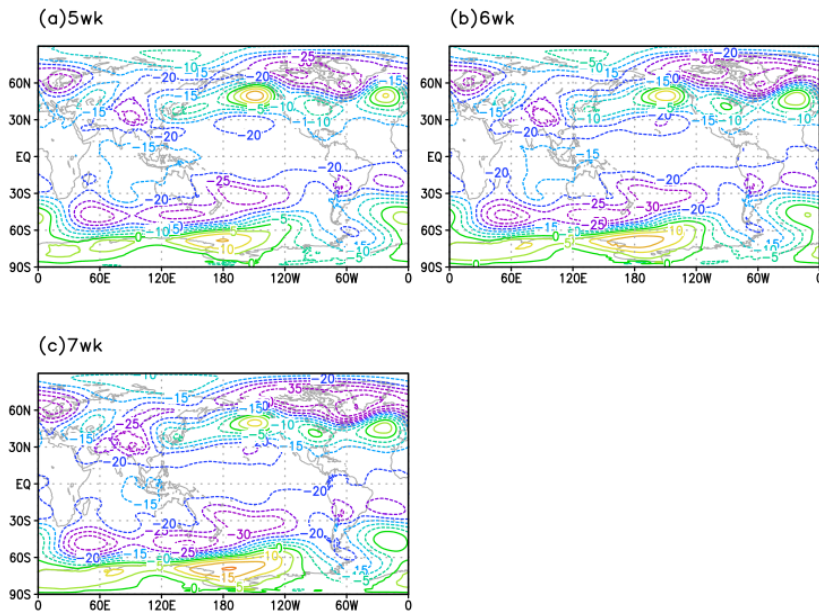


Figure 2 Same as Figure 1 except for (a) week 5 to (c) week 7.

구조적 오차의 공간 형태는 거의 대부분의 지역이 음의 값을 갖고 있음을 알 수 있으며 그 크기는 열대지방에 비해 고위도 지방의 값이 크다. 북반구 중위도 지역을 제외하고 같은 위도대를 중심으로 유사한 형태의 오차가 나타나 동서평균장의 오차가 큰 부분을 차지함을 알 수 있다. 북반구에서는 동아시아 제트의 출구지역인 알래스카만 부근에서 양의 구조적 오차가 나타나며 그 남쪽 및 북쪽으로 PNA(Pacific-North America)와 유사한 형태의 파동(wave) 구조가 나타난다. 같은 위도대의 파동 형태를 관찰하면 북태평양(알래스카만)-북미-북대서양-동유럽-동아시아로 이어지는 파수 5(wave number 5)의 특성을 보이는 circumglobal teleconnection (CGT, Branstator 2002; Ding and Wang 2008)과 유사한 형태의 구조를 보인다.

CGT 패턴은 제트류가 강할 때 Rossby wave가 제트 주변에 가두어져(trap) 발생할 수 있으며 이러한 패턴을 유발하는 강제력은 제트 입구 저위도 지역의 대류활동(여름철의 인도 몬순 등)이 될 수도 있고(Ding and Wang 2008) 대기 내부의 역학적 상호작용에 의해서도 나타날 수 있다. 동서평균장의 오차가 큰 부분을 차지하고 있으며 열대지방은 오차의 값이 작고, 극쪽으로 갈수록 음의 오차가 크게 나타나는 것으로 보아 저위도에서 고위도로의 기압경도력이 모델 예측자료에서 강하게 나타날 것을 유추할 수 있으므로 모델의 지균풍이, 다시 말해 제트류가 관측에 비해 더 강력할 것임을 짐작할 수 있다. 이는 Fig. 3의 (b)에서 나타난 대기 하층 온도의 구조적 오차의 형태와도 부합하는데, 인도양 및 서태평양 지역에는 양의 온도 오차가, 그 외 중고위도 지역에서는 음의 오차가 나타나는 것은 인도양 및 서태평양 지역에서 나타나는 모델의 대류활동이 구조적으로 관측에 비해 강함을 의미하며 저위도 지역의 강한 대류활동에 의해 유발된 Rossby wave가 강한 제트류에 의해 CGT 형태의 구조적 오차 형태를 만들어 낸 것으로 보인다.

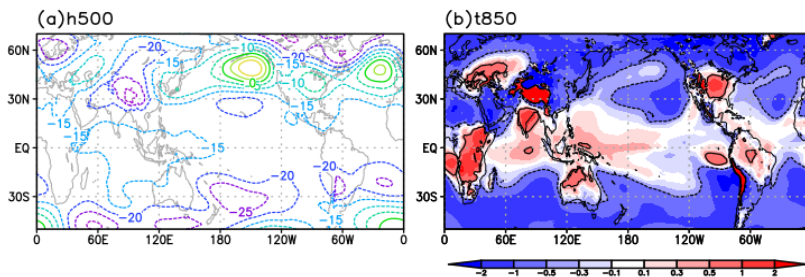


Figure 3 Mean systematic error of (a) 500hPa geopotential height and (b) 850hPa air temperature.

Fig. 4는 예측 3주차 구조적 오차의 계절별 공간 분포를 나타낸 것이다. 전반적인 공간 분포는 유사하게 나타나나 계절별로 약간의 차이를 보인다. 겨울철(JFM)에는 남북방향으로 전파하는 파동 형태가 두드러지게 나타나며 날짜경계선 부근 열대태평양과 아열대 동대서양을 기원으로 하는 Rossby wave 전파의 형태가 나타난다. 봄철과 여름철에는 보다 동서방향의 에디 패턴이 잘 나타나고 있으며 파수-5의 CGT 형태를 유지하고 있다. 가을철에는 동서방향의 wave 패턴과 남북 방향의 패턴이 혼재되어 나타나고 있다.

구조적 오차 가운데 가장 큰 비중을 차지하는 것이 동서 평균장이었으므로 동서평균장 오차의 특성을 Fig. 5와 6에서 살펴보았다. Fig. 5는 북반구 지역에 대해서 각 주별(예측 1주-4주) 동서평균 오차를 예측 초기 시점별(Julian day)로 나타낸 것이다. Fig. 6의 (a)-(c)도 같은 값이나 예측 5주-7주를 나타낸다. Fig. 1과 2에서 나타나는 알래스카 만의 에디 형태의 오차가 예측 4-5주 때 가장 강한 값을 보이는데 반해서 동서평균 오차는 예측 후반부까지 지속적으로 성장함을 알 수 있다.

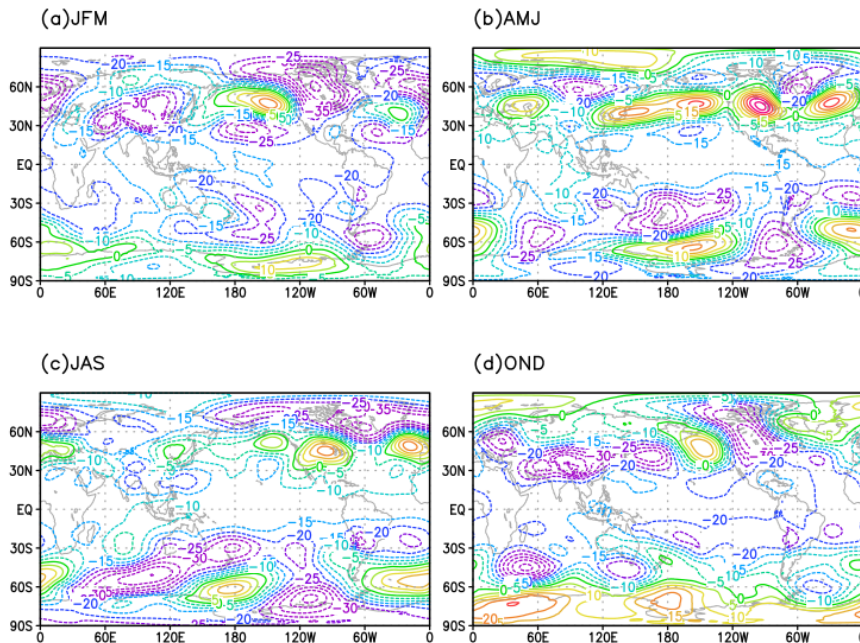


Figure 4 Systematic error of 500hPa geopotential height forecast at third week (week 3) for season of (a) JFM (b) AMJ (c) JAS and (d) OND.

또한 예측 시작 시점이 약 120일에서 200일 정도가 되는 늦봄과 여름철 예측의 경우 북위 40도 지점에 동서평균 오차가 양의 값으로 성장하는 형태가 나타난다. Fig. 6의 (d)는 해당 기간에 대해서 평균된 동서 평균 구조적 오차의 예측 선행시간 (week)에 따른 변화를 나타낸 것으로 여름철 동서평균 제트류가 나타는 위도대인 북위 45도 부근에서 지위고도가 상승하고 그 북쪽으로 감소하는 구조적 오차를 보여주고 있다. 이는 모델의 동서평균 제트류가 실제보다 북쪽으로 치우쳐 나타나고 있음을 시사한다.

그러나 구조적 오차의 공간적 특성을 이해한다고 하더라도 현재 예보에 활용되는 모델 예측 자료는 이 구조적 오차가 제거된 편차장으로 활용되므로 구조적 오차 자체로는 예보업무에 직접적으로 활용될 수 있는 효용성이 떨어진다. 구조적 오차에 대한 분석과 이해는 향후 모델의 개선과 구조적 오차가 초래할 수 있는 조건부(conditional) 오차의 특성을 파악하기 위해 필요한 부분이기도 하나 본 연구의 목적을 감안하면 hindcast 자료를 이용한 계절내 예측성능에 대한 진단 및 분석이 더욱 필요하다고 판단되어 다음 장에서는 예측 성능에 대한 평가를 수행하였다.

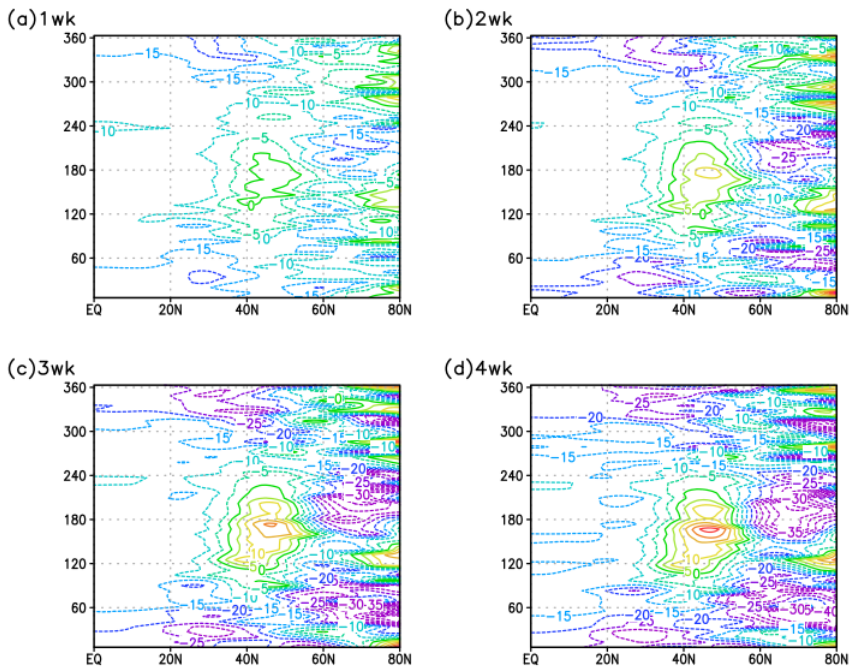


Figure 5 Systematic error of zonal mean 500hPa geopotential height over northern hemisphere at (a) the first week (b) the second week (c) the third week (d) the fourth week. X-axis is latitude from equator to 80oN and Y-axis is Julian day of forecast initial time.

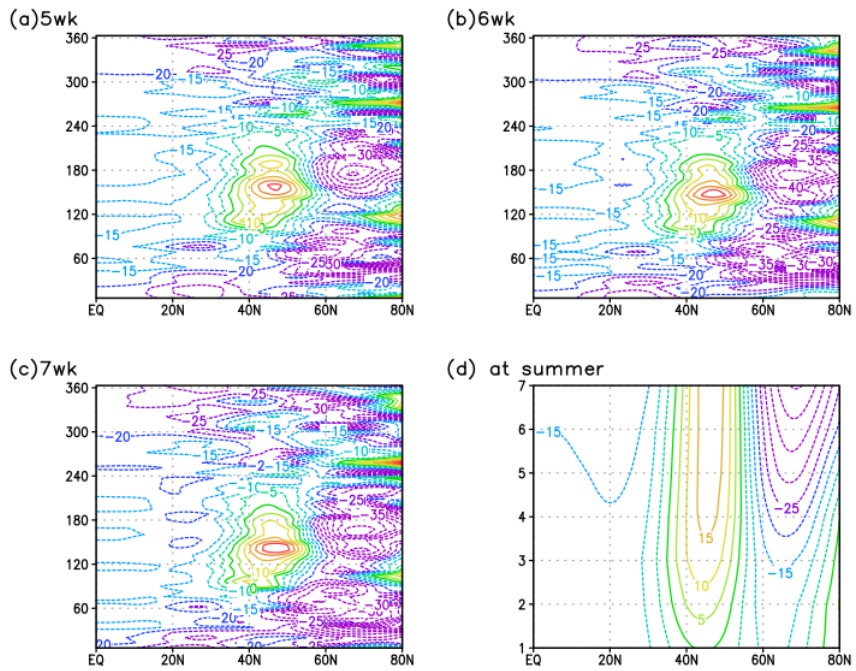


Figure 6 Same as Fig. 4 except for (a) the week 5 to (c) the week 7. (d) composite of zonal mean height error during summer. Y-axis is lead time (week).

3.2 1개월 예측 성능

Fig. 7은 각 격자점 별로 지상 기온의 관측자료(재분석 자료)와 모델 예측자료 사이의 시간 상관계수를 각 예측 선행시간 별로 구한 것이다. 예측 첫 주에는 대다수 지역이 0.3 이상의 값을 보이며 특히 북반구 대륙 지역과 열대 동태평양 지역이 높게 나타난다. 이러한 공간적 특성은 2주차 까지 약하게 유지되다가 예측 3주 이후에는 동태평양 및 열대지방의 일부를 제외하면 매우 낮은 상관계수 값을 갖게 된다. 동태평양 지역의 높은 상관계수, 그리고 그 높은 예측성능이 예측 4주까지 지속되는 것은 ENSO와 관련된 경년 변동의 효과가 나타난 것으로 보이며 그 외 인도양 등 열대 해양 역시 비교적 느린 변동성의 효과가 반영된 것으로 판단된다.

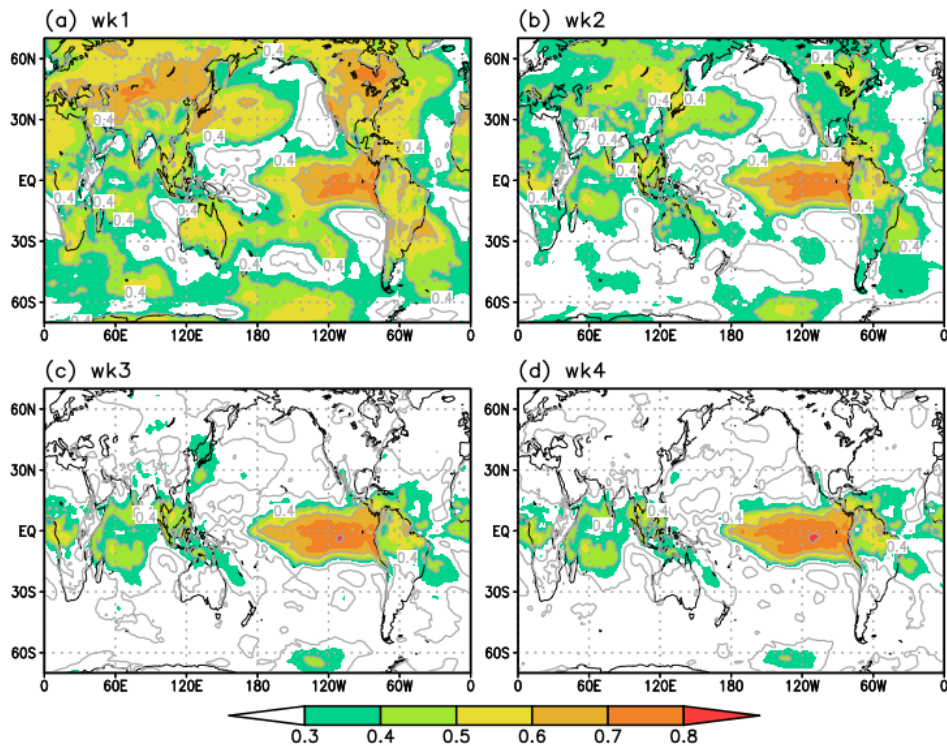


Figure 7 Temporal correlation coefficient (TCC) between forecast and reanalysis for 2m temperature for (a) week 1 to (d) week 4.

Fig. 8과 Fig. 9는 해면기압과 500hPa 지위고도의 시간 상관계수를 나타낸 것이다. 지상 기온에 비해 해면 기압이나 지위고도의 경우 예측 초기의 상관계수 값이 더 높게 나타나나 중위도 지역에 대해서는 예측 3주 이후에 낮은 상관계수 값을 보인다. 기온과 마찬가지로 동태평양 주변에 높은 예측 성능을 보이며 ENSO와 관련된 열대 지방의 지위고도나 해면 기압의 매우 큰 공간규모를 갖는 것을 감안하면 예측 4주 이후의 해면기압은 동인도양과 열대태평양, 지위고도는 열대지방 전체의 상대적으로 높은 예측성능은 주로 ENSO와 관련된 것으로 보인다.

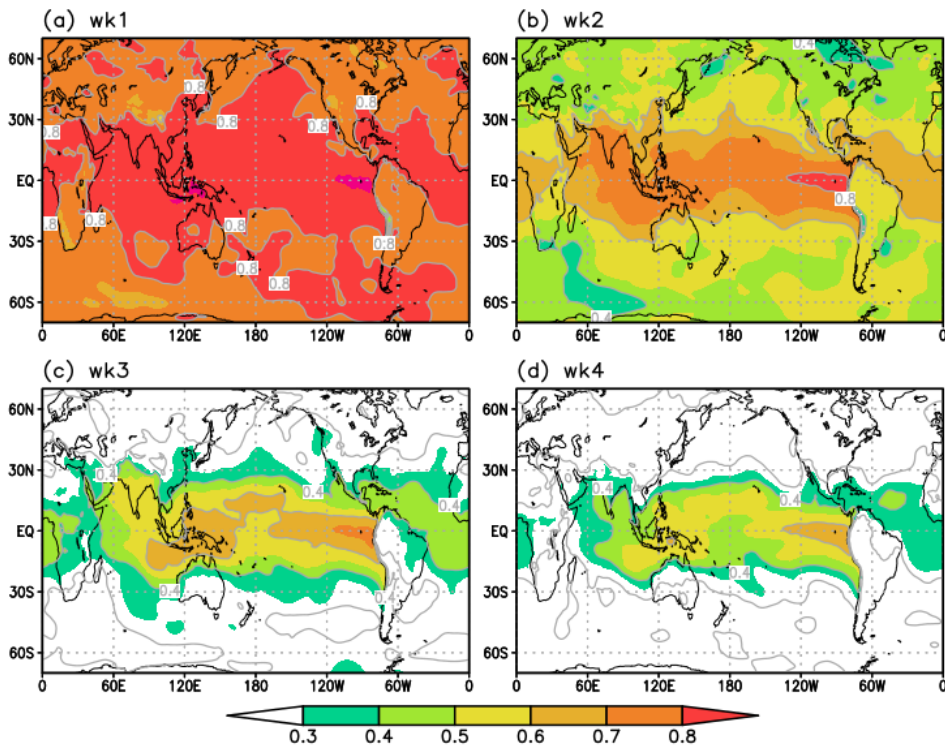


Figure 8 Same as Figure 7 except for mean sea level pressure

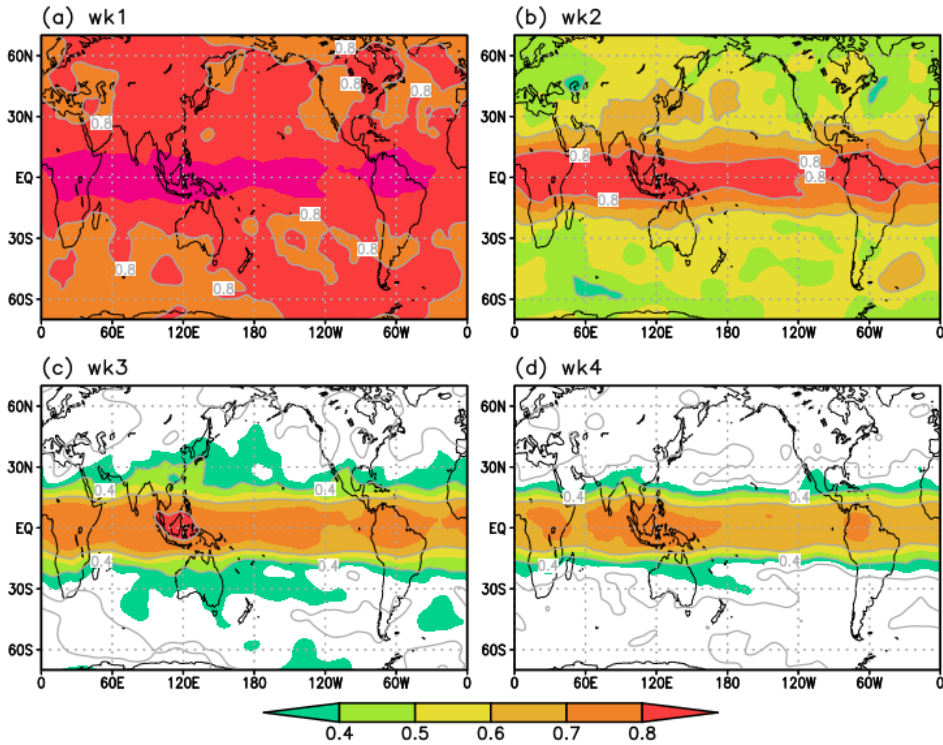


Figure 9 Same as Figure 7 except for 500hPa geopotential height.

즉 기온에 비해 지위고도나 해면기압이 예측초기에 다소 높은 예측 성능을 보이나 중위도 지역의 경우 예측 3주 이후가 되면 예측 대상 지점의 예측값과 관측값의 상관관계는 매우 낮게 떨어지므로 모델 예측 자료를 그대로 예보에 활용하는 것은 가능하지 않다고 볼 수 있다.

현업 예보 생산을 위해서 기온이나 강수의 예측값을 그대로 예보에 활용하는 것은 가능하지 않으므로 지점별 예측값 보다 높은 예측성을 가질 것으로 예상되는 대규모 상층 기압패턴의 예측 결과를 통해 가능한 날씨 특성을 유추하여 예보를 생산하는 것이 가능할 것이다. 이러한 방식은 역시나 예측성능이 높지 않은 계절예측에서도 널리 사용되는 방식이며 이 경우 기압 패턴의 유사성이 중요한 예보 대상이 되므로 공간상관계수(Anomaly pattern correlation coefficient)가 적절한 검증 지표가 될 수 있다. 몬순 지수의 예측에 대한 예측에서도 대규모 순환관 관련된 몬순지수가 더 예측성이 높음을 보인 바 있다 (Liu et al, 2014).

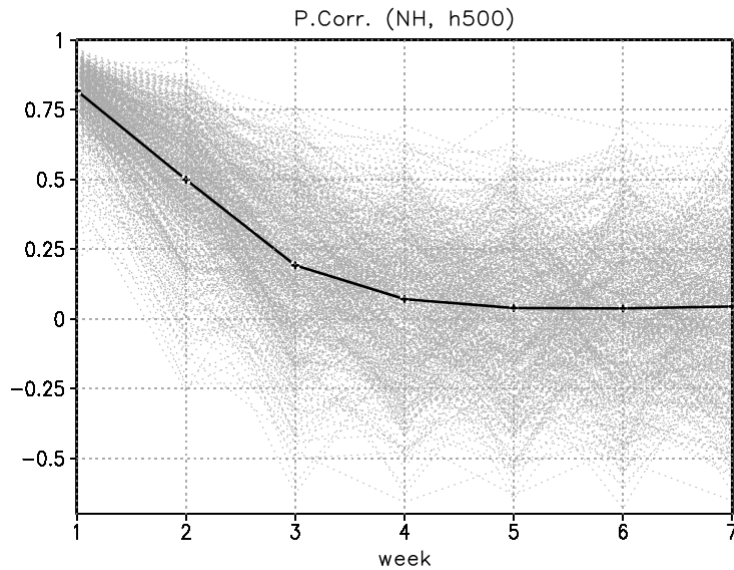


Figure 10 Anomaly pattern correlation coefficient (ACC) of 500hPa geopotential height forecast over northern hemisphere. X-axis is forecast lead time (week). Each dotted line corresponds to individual ensemble mean forecast and thick solid line is averaged value of all cases.

Fig. 10은 북반구 지역에 대한 500hPa 지위고도의 공간 상관계수의 예측 선행시간에 따른 변화를 나타낸 것이다. 점선은 각 예측 사례별 상관계수 값이고 굵은 실선이 그 평균값이다. 평균적인 예측 성능은 Fig. 9에서 짐작할 수 있듯이 예측 첫 주 0.8에서 선형적으로 예측 3주까지 빠르게 감소하여 0.2 정도로 낮아지고 그 이후로 0.1 이하의 낮은 상관계수 값을 예측 후반까지 유지한다. 예측 성능은 사례별로 큰 차이를 보이며 예측 3주 이후에는 그 편차가 후반부 까지 유사하게 나타난다. 계절에 따른 예측 성능의 차이를 알아보기 위해 평균적인 공간상관계수를 예측 초기시점과 선행시간에 따라 살펴보았다 (Fig. 11). 매우 뚜렷하지는 않으나 전반적으로 겨울철의 예측 성능이 여름철에 비해 다소 높게 나타난다. 지위고도의 변동성이 큰 겨울철은 대기 내부의 비선형 역학과정의 강하게 나타나 예측성능이 낮을 가능성도 있으나 반대로 ENSO와 같은 열대지방 강제력의 영향 역시 강하게 나타나는 시기여서 이러한 효과가 반영된 것으로 보인다. 1월과 2월의 일부 예측 기간에 대해 더욱 높은 예측 성능(3주차에 상관계수 0.4)을 보이는 시기가 있는데, 많지 않은 샘플(13년)로 인해 통계적으로 유의미한 계절내 예측성의 변동으로 판단하기는 어렵다.

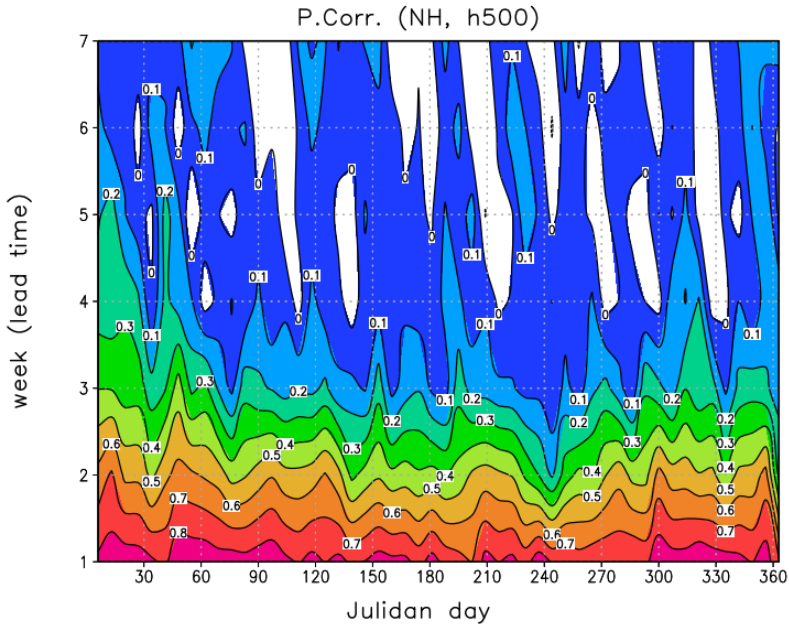


Figure 11 Mean ACC of h500 as a function of forecast initial date (Julian day, x-axis) and lead time (y-axis).

요컨대 지점별 시간 변동의 예측성능(시간 상관계수)의 경우와 같이 대기순환 패턴에 대한 예측성능(공간 상관계수) 역시 예측 3주차에 접어들면 낮음을 알 수 있다. 그러나 예측 사례간 편차가 커서 예측 중·후반까지도 높은 예측성을 보이는 경우가 나타남을 주목할 필요가 있다. 평균적인 예측 성능이 아닌 특정 시기의 실제 예측 성능이 어떻게 나타나는지 살펴보기 위해 1998년 한 해의 공간상관계수를 Fig. 12와 같이 나타내었다. 예측 중반 이후에도 높은 예측 성능을 보이는 사례가 나타나고 있음을 알 수 있으며 예측 성능이 높은 기간은 다양하게 나타나나 시간에 따른 변동은 크게 나타나고 있다. 주목할 만한 것은 높거나 낮은 예측성능이 그림의 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 이어지는 것처럼 나타난다는 점이다. 이렇게 높거나 낮은 예측성능이 이어지는 경우는 모두 같은 시기(특정 주)에 대한 예측으로 결국 실제 관측장의 패턴이 어떠한가에 따라서 예측 성능이 크게 좌우되고 있음을 보여준다. 다시 말해 예측이 잘 되는 공간 패턴이 존재한다는 것이고 이는 특정 패턴이 예측성의 변화를 초래할 수 있다는 flow dependent predictability (Frame et al. 2013; Ferranti et al. 2014)의 개념과 유사성이 있다고 볼 수 있다.

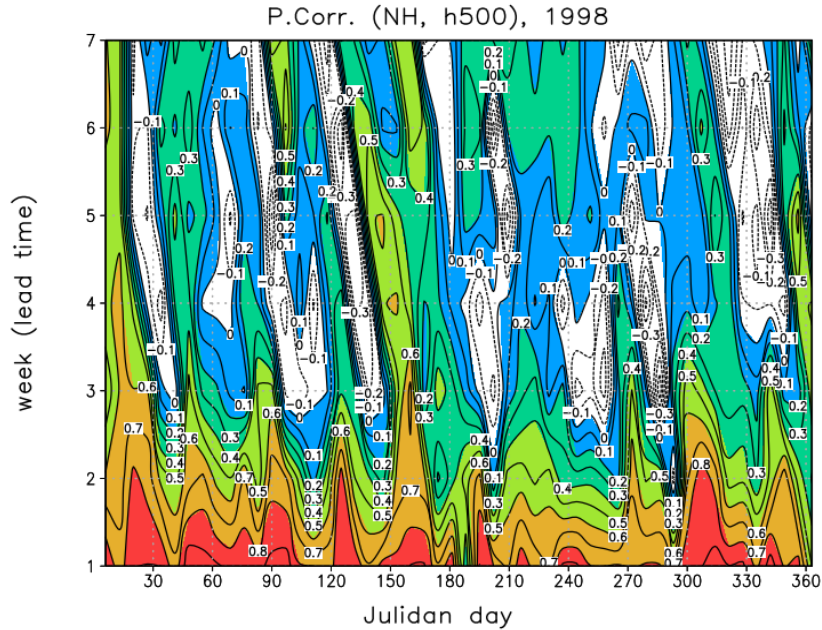
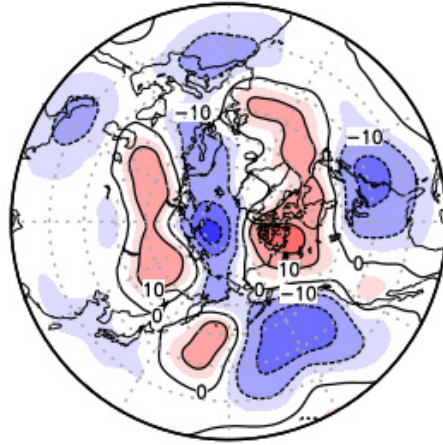
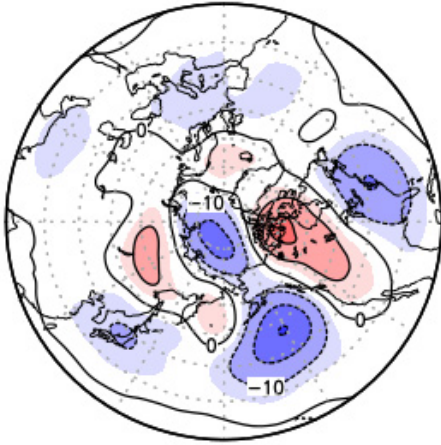


Figure 12 Same as Fig. 11 except for a single year (1998) case.

그렇다면 어떠한 패턴이 높은 예측성을 보이는지 알기 위해서 공간상관계수를 Fisher's z-transform ($\frac{1}{2} \ln \left(\frac{1+\rho}{1-\rho} \right)$) 을 적용해 정규화 한 후 정규화된 예측성능과 500hPa 지위고도의 예측장과의 선형 회귀장(regression field)을 구해보았다 즉 구해진 회귀장은 예측성능이 높을 때 나타나는 공간패턴으로 이해할 수 있다. Fig. 13 은 2주차와 3주차의 예측에서 나타나는 예측성이 높은 공간패턴이다. 2주차와 3주차의 전반적인 공간패턴의 특성은 유사하게 나타난다. 알래스카 만 지역을 중심으로 그 풍상 및 풍하측에 파동형태의 아노말리가 나타나 북대서양과 유라시아 북부 지역에 고기압, 그리고 그 남쪽과 북쪽으로 약한 저기압이 자리잡은 형태이다. 모델의 예측장은 앙상블 평균장이므로 작은 규모의 아노말리는 약하게 모의되어 특히 일본 동쪽의 고기압성 아노말리는 잘 드러나지 않는다. 전반적으로 알래스카 만 지역의 저기압과 그 풍하측의 기압 패턴이 잘 모의되어 그 지역의 기압패턴이 높은 예측성을 보이는데 기여한 것으로 판단된다.

(a)Lead 2 - FCST

(b)Lead 2 - OBS



(c)Lead 3 - FCST

(d)Lead 3 - OBS

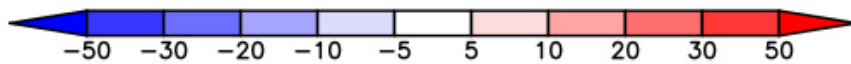
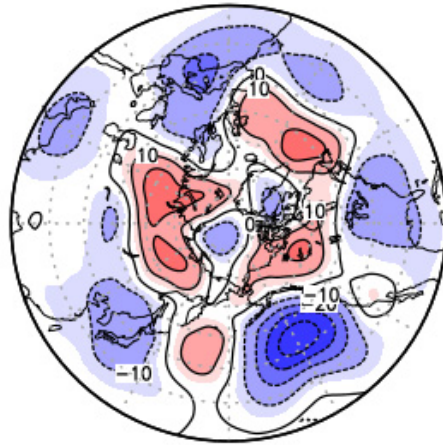
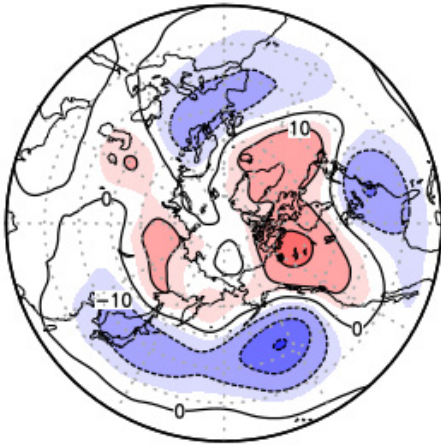


Figure 13 h500 anomaly pattern regressed onto z-transformed ACC value for (a) week 2 forecast and (b) week 2 observation (c) week 3 forecast. (d) week 3 observation.

그러나 이러한 기압 패턴은 우리나라의 월간 전망을 위해 필요한 예측에 크게 기여하지 않을 것이므로 북반구 전체의 예측성이 아닌 동아시아 지역(20°N-55°N, 100°E-160°E)의 패턴 상관계수를 구하여 다시 평가하였다. Fig. 14 동아시아 지역의 공간상관계수를 Fig. 10과 같이 나타낸 것이다. 평균적인 예측성능(굵은 실선)은 북반구 평균과 크게 차이나지 않거나 약간 높은 값을 갖는다. 주목할 만한 것은 예측 성능의 사례별 편차가 매우 크며 그 편차의 폭은 예측 3-4주를 넘어서면 예측 및 관측 시점을 일치시키지 않은 임의의 예측과 관측을 조합해 만들어 낸 검증 결과에서 얻을 수 있는 편차의 폭과 거의 같다(not shown). 즉, 예측 초기에는 유의미한 예측 성능을 보이나 예측 중 후반부에는 임의의 예측에 비견될 정도로 매우 큰 예측 성능의 변화를 보인다는 것이다.

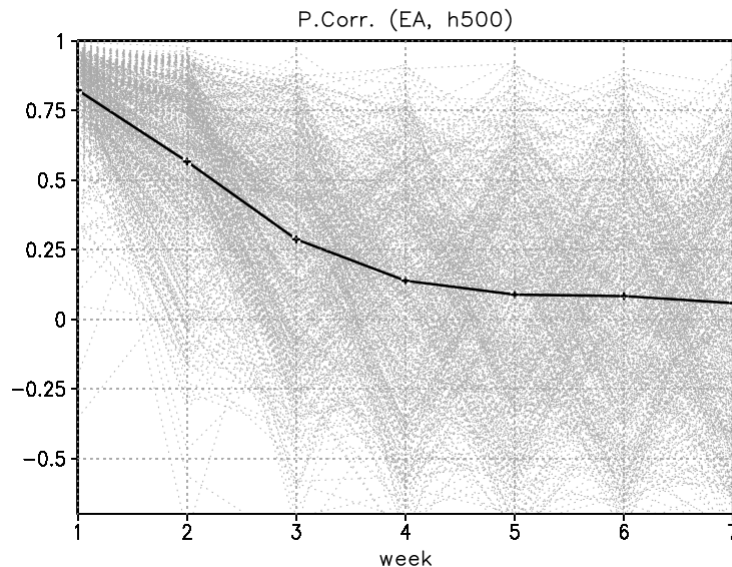


Figure 14 Same as Fig. 10 except for ACC over east Asia.

앞서 보인 예측성이 높은 공간 패턴은 계절과 무관하게 도출된 것으로 계절마다 큰 차이를 보이는 북반구 순환장의 특성을 고려할 때 현실적이지 않은 부분이 있을 수 있다. 또한 선형적으로 연관된 패턴은 예측성이 높을 때와 낮을 때의 패턴이 정반대의 형태를 갖추어야 하므로 이 역시 보장할 수 없는 조건이다. 따라서 동아시아 지역의 예측성과 관련되어 예측성이 높은 패턴을 각 계절별로 동아시아 지역의 공간상

관계수가 0.5 이상인 경우를 수집하여 합성하여 구하였다. Fig. 15-18은 각각 겨울, 봄, 여름, 가을에 수행된 예측에 대해서 예측성이 높은 경우의 합성장을 각각 나타낸 것이다. 왼쪽 위는 1주차의 예측(좌) 및 관측(우)의 패턴, 오른쪽 위는 2주차, 왼쪽 아래는 3주차, 그리고 오른쪽 아래는 4주차의 패턴들이다.

겨울철의 경우(Fig. 15) 알래스카만의 저기압이 관측 및 예측에서 지속적으로 나타나고 있으며 이때 동아시아 지역은 약한 고기압이 자리잡고 그 북쪽으로 저기압이 자리잡은 형태를 띤다. 대규모 순환 패턴은 Fig. 13에서 보인 북반구 예측성능과 선형적으로 관련된 패턴과 유사함을 알 수 있으나 동아시아 지역의 부호는 반대이다. 다른 계절의 경우도(Fig. 16-18) 예측 초기에 알래스카 만 지역의 저기압이 나타나고 동아시아 지역에는 고기압이 나타나는 유사한 패턴을 보이며 예측 3주, 4주차에 들어서면 동아시아 지역의 패턴 유사성이 높은 사례를 합성한 결과라고 하더라도 예측과 관측의 패턴 유사성이 감소한다. 즉 예측 초기의 예측성이 높은 패턴은 계절과 무관하게 나타나며 이러한 패턴은 우리나라 상공 혹은 그 서북쪽에 고기압이 존재하고 동쪽의 해양에 저기압이 존재하는 구조로 나타난다. 이러한 예측성이 높은 패턴이 만들어 지는 상황은 1) flow dependent predictability 개념에서 언급하듯 대기 초기조건의 대규모 순환 regime 변화가 특정 위상(가령 음의 NAO에서 양의 NAO로)으로 변화할 때 대기의 불안정성이 감소하고 그에 따라 대기의 비선형성이 감소하여 예측가능성이 높아지는 상황, 즉 초기조건의 영향이 예보 이후까지 지속해서 나타나는 상황이거나 2) MJO나 ENSO와 같은 외부 강제력과 원격상관에 의해 특정 기압 패턴이 출현하는 경우, 즉 경계조건의 영향이 예보 후반부에 나타나는 상황으로 구분할 수 있다. 예측 초기 1-2주 차에 모든 계절에 걸쳐 유사하게 나타나는 예측성이 높은 패턴은 어느 정도 초기조건이 기여한 바가 있다고 볼 수도 있을 것이다. 그러나 Flow dependent predictability 개념에서 다루는 일반적인 예측 범위 역시 2주 이내의 중기예보여서 3,4주 까지 초기조건의 영향이 지속된다고 보기는 어렵다. 따라서 3, 4주 이후에 나타나는 예측성이 높은 패턴은 경계조건의 영향에 의해 도출될 가능성이 높다고 볼 수 있다. 계절내 예측에서 경계조건의 영향이 나타날 수 있음은 이전 연구에서도 보인 바 있다 (Newman et al. 2003; Li and Robertson 2015)

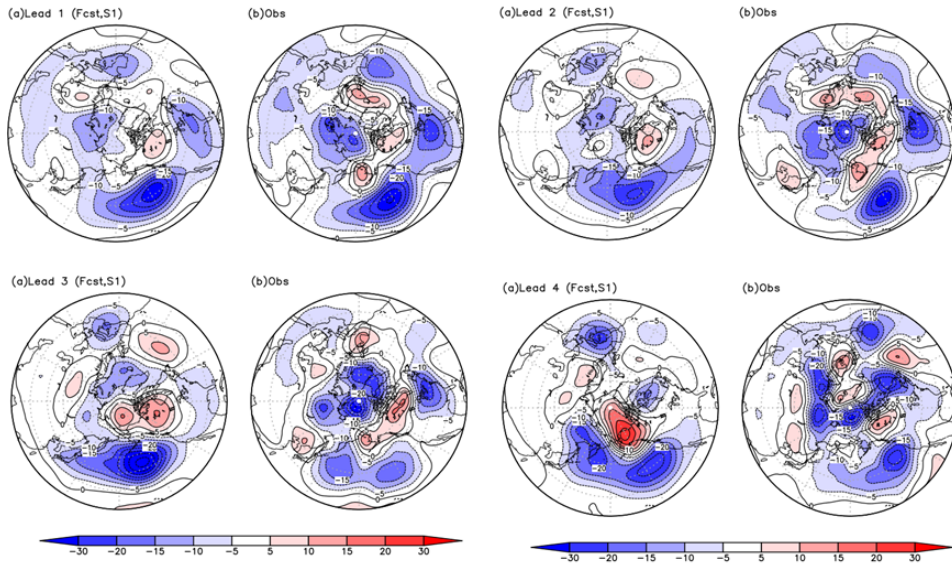


Figure 15 Composite map of 500hPa geopotential anomalies for the case with good forecast skills during winter (ACC over east Asia is higher than 0.5) from the week 1 (top left pairs), week 2 (top right pairs), week 3 (bottom left pairs) and week 4 (bottom right pairs). Left figure of each pair is the forecast anomaly and left figure is corresponding observation anomaly.

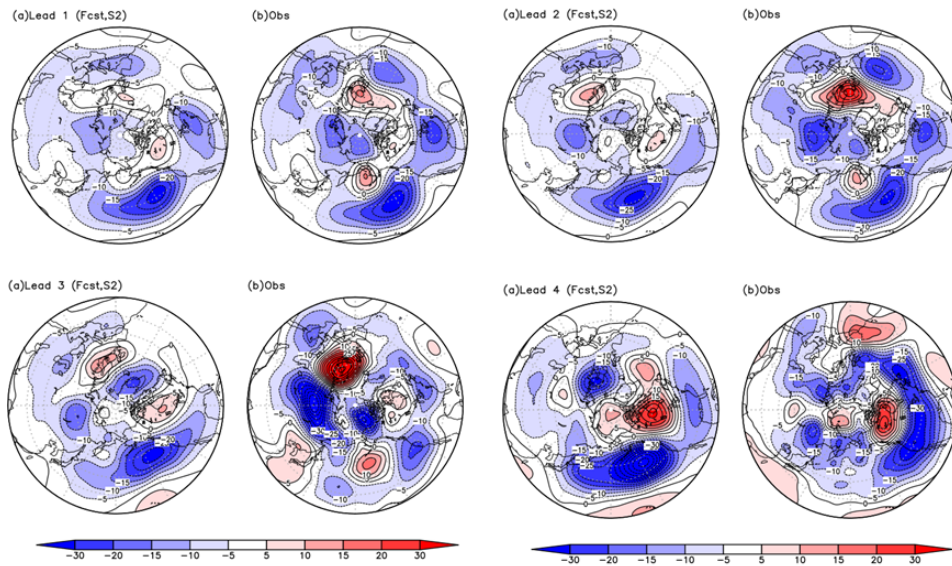


Figure 16 Same as Fig. 15 but for spring cases

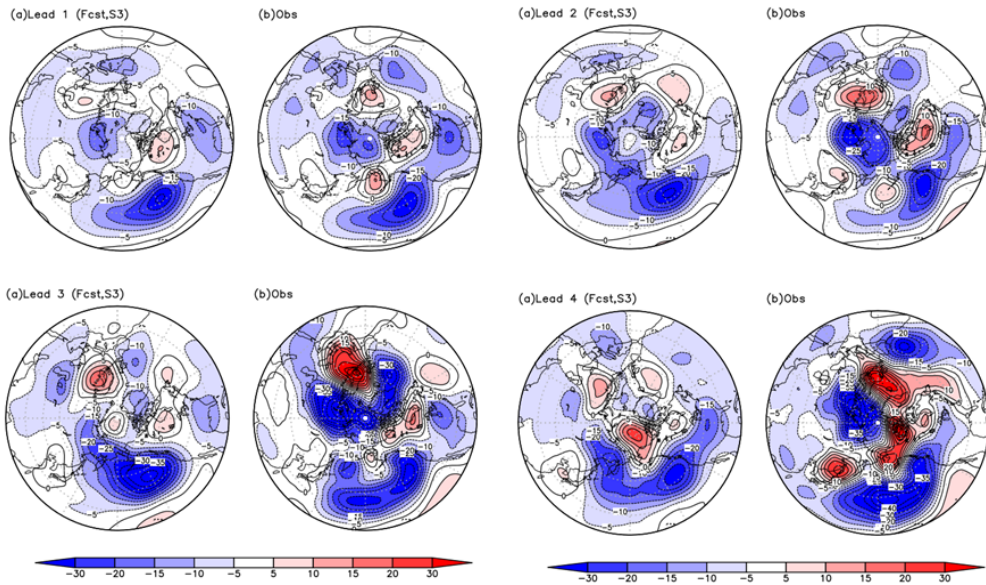


Figure 17 Same as Fig. 15 but for summer cases

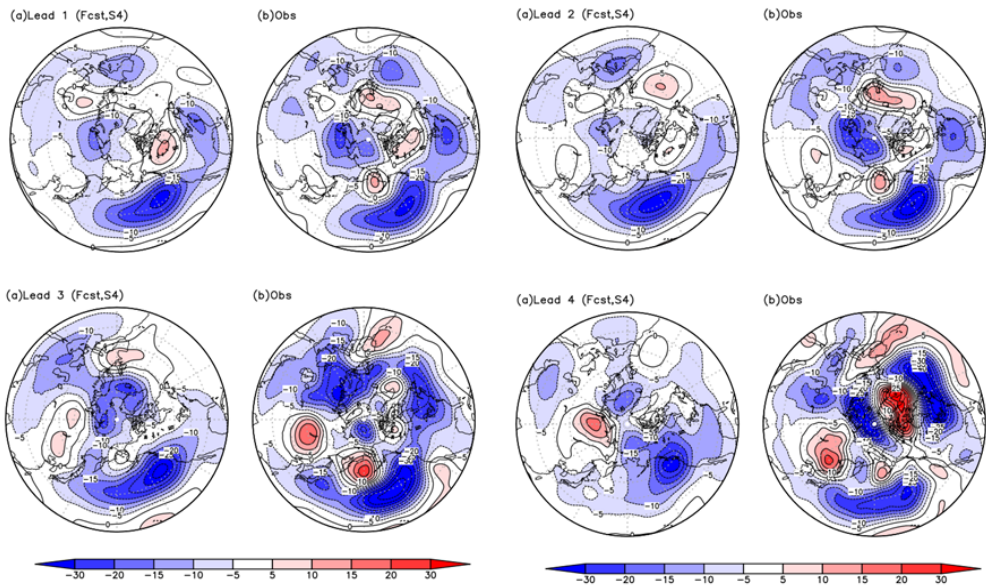


Figure 18 Same as Fig. 15 but for autumn cases

한편 Fig. 14에서 보이는 점선의 궤적을 살펴보면 같은 예보라고 하더라도 어떤 시점에는 높은 예측성능을 보이다가 바로 그 다음 주에 예측성능이 크게 감소하는 혹은 그 반대의 경향을 보이는 사례가 매우 많음을 알 수 있다. 이러한 시간에 따라 예측성이 크게 변화하는 것은 관측과 시간적으로 일치하지 않는 임의의 예측자료를 검증한 사례에서도 많이 나타나고 있어서 우연하게 동아시아 지역의 공간상관계수가 높게 나타나는 사례가 다수 있음을 의미한다. 일반적으로 외부 경계조건에 영향을 1주 보다는 긴 시간규모에서 나타나므로 1주만에 예측성능이 크게 변화하는 것은 외부 경계조건에 영향을 나타낸 것이라고 하기는 어렵다. 즉, 예측 3주 이후에 예측성이 높은 패턴이 나타난다고 하더라도 예보관이 현업 예측 업무에서 믿음을 가지고 활용하게 될 가능성은 낮다고 볼 수 있다.

따라서 예보관이 활용가능한 예측가능한 패턴은 예측초기부터 중, 후반까지 지속적으로 평균 이상의 예측성능이 일관되게 나타나는 경우일 것이며 그러한 경우를 추출하여 합성한 것이 Fig. 19이다. 그리고 사례의 분포를 아래 Table 1에 정리하였다. 예측 첫주의 예측성은 대체로 우수하므로 예측 2-4주의 공간상관계수값이 지속적으로 0.5를 넘는 사례들을 선택하면 모두 82개 사례가 도출되며 그 가운데 절반 이상인 48개 사례가 연이어 나타나고 있다. 길게는 2달 가까이 동아시아 기압 패턴에 대한 예측이 잘 이루어지는 사례까지 나타나고 있어서 이렇게 장기간 연속적으로 예측성능이 우수한 경우는 외부 경계조건에 영향을 나타낸 것이라고 생각할 수 있다.

합성장의 크기가 작아서 사례간 편차가 큰 것으로 예상할 수 있으나 예측이 지속적으로 우수한 경우의 특징을 보면 우리나라 북쪽으로 기압능이 지나가 오호츠크해 남쪽 부근에 정체하고 우리나라 서쪽에서 기압골이 느리게 접근하여 발달하는 형태를 보인다. 이런 경우에 우리나라 부근 기압계가 정체하면서 악기상으로 발달할 가능성이 크므로 이에 대한 상세한 추가 분석은 악기상의 조기탐지 및 예측에 기여할 수도 있을 것으로 판단된다.

Table 1 예측성이 지속적으로 높은 사례의 분포

연속되는 기간 (사례)	회수
2주	8
3주	2
4주	2
5주	1
6주	1
7주	1

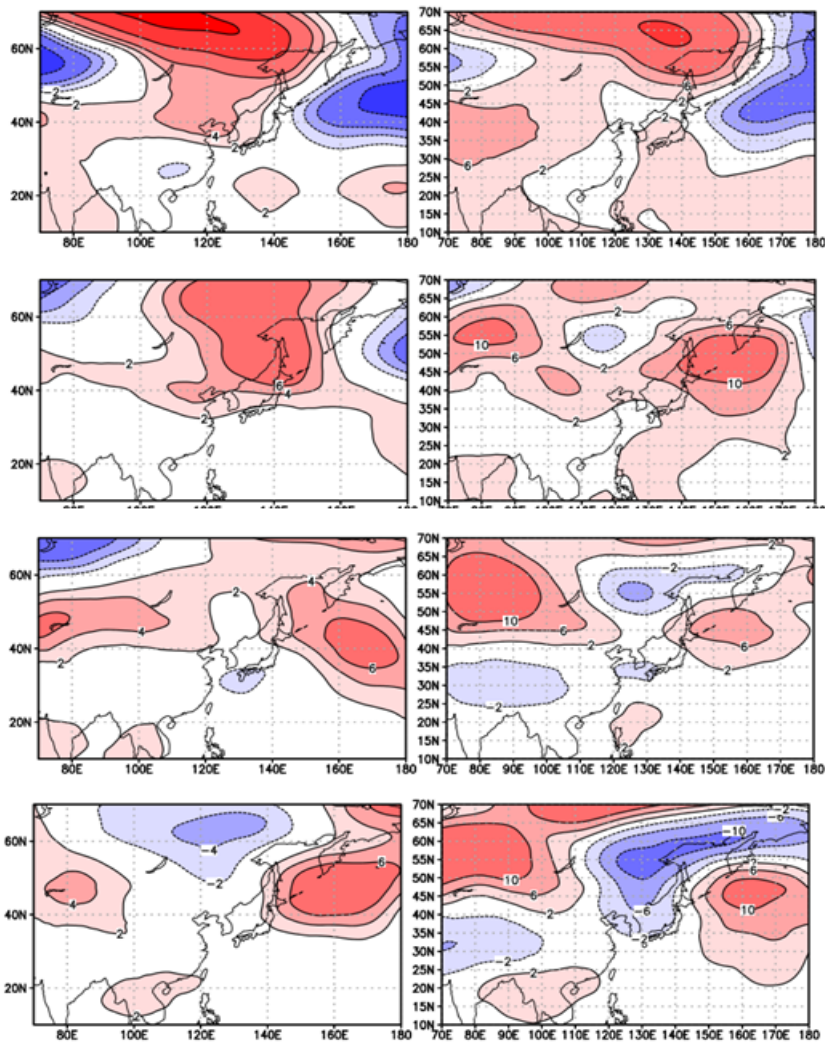


Figure 19 Composite map of h500 forecast (left) and observation (right) for the case of consistently good forecasts from the week 1 (top) to week 4 (bottom).

4. 요약 및 토의

1개월 주별 예측을 위한 기상청 장기예보 모델인 GloSea5의 과거 hindcast자료를 이용해 구조적 오차의 특성과 예측 성능을 분석하였다. Glosea5의 구조적 오차는 예측 초기에 나타나는 공간패턴이 지속적으로 유지되면서 동서 평균장의 경우 예측 후반부 까지 증가하고 동서 편차장의 경우는 예측 중반 (4-5주) 경에 가장 큰 값을 보인 후 더 이상 성장하지 않는 형태를 보인다. 500hPa 지위고도에서 나타나는 구조적 오차의 형태는 파수 5의 CGT 패턴과 유사하게 나타나며 이는 모델의 제트류와 서태평양 지역의 대류활동의 강한 모의와 관련된 것으로 보인다.

기후값에서의 편차장을 이용해 예측정보를 생산하는 기후예측의 경우 시간적으로 큰 변화가 없는 구조적 오차의 특성은 예보관의 예보업무에 활용될 여지가 많지 않으므로 예측성능에 대한 분석을 실시 하였다. 북반구 및 동아시아 지역에 대한 앙상블 평균 예측성능은 예측 변수를 막론하고 예측 1,2주까지는 유의미한 예측정확도를 보인다고 볼 수 있으나 예측 3주 이후에는 예측 성능이 떨어져서 평균적으로 볼 때 예측에 활용가능한 수준의 예측성능을 보인다고 하기 어렵다.

그럼에도 불구하고 하고 특정 조건에 예측성능이 높게 나타나는 사례들이 존재하며 알래스카 만 지역의 저기압의 발달을 중심으로 하는 특징적인 기압 패턴을 보인다. 그러나 이러한 패턴이 예측되고 실제로 나타나는 데에는 임의성이 커서 특히 예측 3-4주차 실제 예보에 활용할 여지가 그리 높지 않다.

한편 지속적으로 예측성능이 높게 유지되는 사례들이 있으며 이러한 사례들이 연속적으로 나타나는 경우가 많은 것으로 보아 외부 경계조건의 영향을 받은 것으로 판단된다. 이 경우 우리나라 동쪽에 고기압 발달 및 기압계의 정체와 유사한 공간 형태를 보인다. 추후 외부 경계조건에 의해 예측성이 높게 나타나는 경우, 이른바 예측에서의 기회의 창(windows of opportunity)에 대한 추가적인 분석을 통해 동아시아 지역의 계절내 예측성에 대한 이해를 높임과 동시에 추가적인 예측인자 도출의 실마리를 얻을 수 있을 것으로 기대하며 이를 통해 우리나라 1개월 예측 성능의 향상에 기여할 수 있을 것이다.

현재 Glosea5의 주별 계절내 예측자료는 매 주 목요일에 발표되는 1개월 전망 생

산에 활용된다. 1개월 전망은 향후 1개월간 각 주별 온도와 강수에 대한 3분위 확률 예측 정보를 제공하고 있으며 한반도 전체와 북한을 포함한 12개 세부 지역에 대한 상세 예보를 추가로 제공하고 있다. 현재 1개월 예보 생산은 기상청 기후업무규정(기상청장령) 3장에 세부 사항이 규정되어 있는데 그 내용은 아래와 같다.

■ 기후업무규정 (부분발췌)

제17조(장기예보의 종류) 「기상법 시행령」 제8조제1항제4호에 따른 장기예보의 종류는 다음 각 호와 같다.

1. 1개월 전망: 발표일이 속한 주의 다음 두 번째 주(월~일요일부터 다섯 번째 주까지 4주간의 주별 전망

제18조(장기예보의 내용) 장기예보의 내용은 다음 각 호와 같다.

1. 1개월 전망
 - 가. 주별 기온 및 강수량 전망
 - 나. 그 밖에 1개월 전망에 필요한 사항

제19조(장기예보의 대상구역 및 발표시기)

- ② 장기예보의 발표시기는 다음 각 호와 같다. 다만, 발표일이 공휴일 등 특별한 사유가 있을 경우에는 공휴일이 시작되는 전날이나, 공휴일이 끝나는 다음날에 발표할 수 있다.

1. 1개월 전망: 매주 목요일

규정에 따르면 1개월 예측은 매주 목요일 발표일부터 10일 이후가 되는 시점부터 4주간의 주별 기온 및 강수량 전망을 생산하는 것을 의미하는데 10일 이후부터 시작되는 이유는 예보업무 규정에 정의된 장기예보의 정의가 예보 대상기간이 11일 이상인 예보로 되어있기 때문이다.

실제 예보 생산을 위해서는 생산된 모델 자료에 대한 분석이 필요하고 예측 불확실성의 탐지를 위해 필요한 충분한 수의 앙상블 멤버 수를 확보하기 위해서는 예측 생산 시점보다 수 일 이전의 상황으로 초기화된 모델의 예측 자료들을 활용해야 한다. 현재는 7일간의 예측 결과를 취합하고 있다. 따라서 앙상블 구성을 위한 7일, 그리고 장기예보로서 갖춰야 할 선행시간이 10일, 그리고 예보관의 분석 및 예보 생산에 필요한 기간을 포함하면 모델의 초기시점과 1개월 예보의 첫 주 사이에는 3주 가까운 시간 차이가 발생하게 된다.

즉, 모델의 초기시점을 기준으로 볼 때 1개월 예보의 첫 번째 주는 실제로는 예측 시작 후 3주 혹은 4주차에 해당하게 된다. 그러나 앞서 살펴본 바와 같이 일반적인 주간 평균장의 예측성능은 예측 초기 2주에만 유의미하게 나타나고 예측 시작 4주 이후에는 예측성능이 매우 낮다.

우리나라와 같이 일기예보보다 더 긴 기간에 대한 예측을 수행하고 있는 일부 선진국의 상황과 우리나라의 상황을 비교해 보면 아래와 같다.

Table 2 국가별 1개월 예측 현황

국가	예보 대상 기간	예보발표 시점과 대상 기간의 차이	예보 정보
미국 ¹⁾	6-10일, 8-14일	5일	확률예측지도, 주(state)별 기온, 강수 3분위 확률
영국 ²⁾	6-15일, 16-30일	5일	날씨 개황(text), 악기상 위험, 예측 후반기 편차 (above/below)
일본 ³⁾	1주, 2주, 3-4주	1일	11개 현 대상 예보 기간별 기온, 1개월 총 강수량 등
프랑스 ⁴⁾	1주, 2-3주	8일	날씨 개황(1주), 기온 경향 (2-3주) 단, 2-3주는 수치예보에서 뚜렷한 시그널이 있는 경우에만 발표
대한민국	1주, 2주, 3주, 4주	11일	12개 지역, 기온, 강수 3분위 확률 예보

위 표에서와 같이 우리나라는 예보 발표 시점과 대상 기간의 차이가 다른 나라에 비해 월등히 길 뿐 아니라 3주 이후 예측에 대해서도 영국이나 일본과 다르게 주별 평균 예측 정보를 생산할 뿐 아니라 지역 구분 역시 가장 상세하게 하고 있어, 가장 먼 미래에 대해 가장 상세하게 예측을 생산하는⁵⁾, 다시 말해 전 세계에서 가장 어려운 예보를 생산하게 규정되어 있는 상황이다.

1) <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/predictions/>

2) <http://www.metoffice.gov.uk/public/weather/long-range-forecast/>

3) <http://www.jma.go.jp/jp/longfcst/>

4) <http://www.meteofrance.com/accueil/previsions-mensuelles>

5) 지역 구분도 우리나라가 가장 상세하고 일본의 경우 주별 예측은 기온에 대해서만 수행하고 강수는 1개월 단위로 예측한다. 2주 이후의 주별 강수량 예측은 우리나라만 수행하는 셈이다.

5. 제언

예보정보를 필요로 하는 수요자의 요구를 감안하면 더 높은 해상도와 더 먼 미래에 대한 예측 정보가 제공되는 것이 바람직하나 현재의 기술 수준을 고려할 필요가 있다. 특히, 확률예측 정보에 대한 해석이 수월할 것으로 기대하기 어려운 일반 국민을 대상으로 한 예측 정보는 가장 발생확률이 높은 카테고리에 대한 단정적인 예보로 해석되기 쉬우며 불확실성에 대한 정보가 소거된 먼 미래에 대한 단정적인 예보는 낮은 예측성을 갖게 될 것이다. 낮은 예측성을 갖는 예보 대상에 대한 예측정보의 제공은 기상청 장기예보에 대한 전반적인 신뢰도 저하로 이어질 위험이 있다. 따라서 현재의 예측성능 수준을 고려한 예측정보의 생산 및 발표가 이루어질 수 있도록 체계를 개선할 필요가 있다. 따라서,

- 1) 예측 선행시간 및 예측에 필요한 준비 시간을 줄여 타 선진국과 같이 예측성이 높은 초기 2주가 1개월 예측정보에 포함될 수 있도록 하고
- 2) 예측성이 낮은 3,4주 이후 예측성능을 향상시키기 위한 연구개발을 추진함과 동시에 현재 예측성능을 고려한 예측정보 제공 형태를 고안할 필요가 있다.

그러나 현재 규정상 장기예보는 11일 이상에 대한 예보로 정의되어 있고 장기예보 생산을 위한 역학 모델 및 생산 주체가 10일까지의 단·중기 예보 모델 및 예보 생산 주체가 다르기 때문에 많은 체계의 변화를 필요로 한다. 이러한 체계적 변화에 대한 필요는 기존 예측 생산 체계가 일기예보와 계절예측을 중심으로 발전해 왔기 때문이며 두 예측 기간 사이인 이 예보 구간에 대한 예측은 아직까지 전 세계적으로 표준화된 예보 절차나 기법이 정해져 있지 않기 때문이다. 물론 이미 발표하기 시작한 장기상세 예측정보의 선행시간과 정보의 양을 축소하여 제공되는 공공서비스의 품질이 낮아지는 것으로 보일 수 있으나 더 신뢰도 높은 정보를 제공하기 위함이고 예측정보의 형태와 전달 방식을 사회의 각 구성원과 함께 고민해 최선의 해법을 도출한다면 실현가능할 것이다.

과학적으로도 10일 미만의 단·중기 예보와 1개월 이상의 장기예보가 그 현업 생산에 앞서 장기간의 연구개발을 통해 그 예측성과 예측방법에 대한 과학적 검토가 충분히 진행된 것에 비해 1개월 예측의 대상인 계절내 예측 분야는 상대적으로 많은 연구가 이루어지지

않았다. 최근에 들어서야 S2S 예측(Subseasonal to Seasonal prediction) 프로젝트가 WWRP(World Weather Research Program)과 WCRP (World Climate Research Program)의 협력을 통해 추진되고 있음은 시사하는 바가 있다. 1개월 예측에 대한 문제는 서로 다른 예보 주체의 협력과 관련 규정의 개선, 연구개발을 통한 예측 기술의 개발이 함께 이루어져야 해결가능한 문제이다.

역학적 예측 모델의 예측성능이 예측 3-4주 이후에 높지 않은 상황을 감안해 역학적 예측을 보완할 예측인자들의 개발 역시 진행될 필요가 있다. 과거 계절예측은 통계적 예측에 주로 의존해 오다가 기후모델의 성능 개선에 힘입어 점차 역학적 예측으로 전환되어 왔으며 대표적 예측대상이자 예측성을 제공하는 인자인 ENSO에 대한 예측모델의 개발 및 생산을 필두로 예측 기술에 발전해 온 사실은 계절내 예측 분야에도 시사하는 점이 있다. 우리나라 날씨에 영향을 미치는 계절내 저주파 변동에 대한 계절별, 시기별 분석과 함께 그 변동성에 대한 예측 기술들을 개발하고 이를 이용한 체계적인 예보 가이드라인을 구축할 필요가 있다. 일례로 현재 계절내 예측성의 대부분을 설명하고 4주까지 유의미한 예측성능을 보이는 열대지방의 계절내 진동(Intraseasonal Oscillation)이 우리나라에 미치는 영향과 이를 이용한 현업 예측 기법의 개발이 가능할 것이다.

영국의 경우는 예보기간에 발생할 것 같은 날씨 상황에 대한 개략적인 설명을 중심으로 제공하며 어떠한 숫자 정보도 제공하지 않는다. 반면 일본, 한국의 경우는 미리 정해진 대상 지역에 대해 기온, 강수 등의 확률예측 정보를 제공하고 있다. 두 가지 경향 모두 의미가 있는 정보이나 현재 논의의 대상이 되는 1개월 예보는 기상법 시행령 8조에 정의된 일반인을 위한 예보에 해당하는 것으로 일반인을 위한 장기예보에 어떤 내용들이 필요할지에 대한 고민이 필요하다고 판단된다. 일례로 Chelliah(2013)은 예측성이 낮은 3-4주에 대한 예보를 기후값으로 부터의 편차에 대한 예측이 아닌 일반인들이 경험하고 있는 현재 날씨상태 혹은 최근 1주일 평균치에 대한 높고 낮은 경향을 제공하는 것이 더 대중에게 유익할 수 있음을 제안한 바 있다. 또한 많은 분야에서 전년 동기 대비 특성이 중요하게 다루어지는 바, 이에 대한 정보를 제공하는 등 다양한 정보 제공의 방식을 고려해 볼 수 있을 것이다.

일반 대중이 아닌 장기예보의 유효한 수요자는 각 산업과 공공분야별 중장기 계획 수

립을 위한 의사결정자일 것이므로 이러한 수요자를 위한 예측정보는 또 다른 방식의 정보 콘텐츠와 유통과정이 필요하다. 따라서 장기에보의 수요자, 현실적인 예측정확도, 예측정보의 생산 및 전달 방식에 대한 포괄적인 검토는 이 분야에서 기상청의 업무영역과 기상정보 사업자의 사업 영역에 대한 발전적 논의로 확장될 것으로 예상되며 이를 통해 다양한 층위의 국민에게 기여하는 예측정보의 생산과 유통체계의 도출이 이루어지기를 기대한다.

참고 문헌

- 김지영, 이현수, 2010: 장기에보 업무의 과거, 현재, 그리고 미래, 기상기술정책 11호, 82-89
- Branstator, G., 2002: Circumglobal teleconnections, the jet stream waveguide, and the North Atlantic Oscillation. *J. Climate*, 15, 1893-1910.
- Chelliah, M. 2013: Towards filling the gap in NOAA's Seamless Suite of Forecast products: Prospects of "Useful" prediction for weeks 3 and 4?, Science and Technology Infusion Climate Bulletin NOAA's National Weather Service 38th NOAA Annual Climate Diagnostics and Prediction Workshop College Park, MD, 21-24 October 2013
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, I., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. and Vitart, F., 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 137: 553-597
- Ding, Q. and B. Wang, 2005: Circumglobal Teleconnection in the Northern Hemisphere Summer*. *J. Climate*, 18, 3483-3505.
- Ferranti, L. S. Corti, and M. Janousek, 2014: Flow dependent verification of the ECMWF ensemble over the Euro-Atlantic sector, *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 141: 916-924
- Frame, T.H.A., Methven, J., Gray, S.L. and Ambaum, M.H.P. (2013) Flow-dependent predictability of the North Atlantic Jet. *Geophysical Research Letters*, 40 (10). pp. 2411-2416.
- Kang, H. S., K. O. Boo, and C. H. Cho, 2011: Introduction to KMA-Met office joint seasonal forecasting system and evaluation of its hindcast ensemble simulations. NOAA/NWS Science and Technology Infusion Climate Bulletin, Oct, 2011
- Li, S. and A. W. Robertson, 2015: Evaluation of Submonthly Precipitation Forecast Skill from Global Ensemble Prediction Systems. *Mon. Wea. Rev.*, 143, 2871-2889.
- MacLachlan, C., Arribas, A., Peterson, K. A., Maidens, A., Fereday, D., Scaife, A. A., Gordon, M., Vellinga, M., Williams, A., Comer, R. E., Camp, J., Xavier, P. and Madec, G. 2015: Global Seasonal forecast system version 5 (GloSea5): a high-resolution seasonal forecast system. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 141: 1072-1084.

- Miyakoda, K., J. Sirutis, and J. Ploshay, 1986 : One-month forecast experiments-without boundary forcings, *Monthly Weather Review*, 114, 2363-2401
- Newman, M. P. D. Sardeshmukh, and C. R. Winkler, and J. S. Whitaker, 2003 : A study of subseasonal predictability, *Mon. Wea. Rev.* 131, 1715-1732
- Pegion, K., P. D. Sardeshmukh, 2011: Prospects for improving subseasonal predictions, *Mon. Wea. Rev.* 139, 3648-3666
- White, C. J., S. W. Franks, and D. McEvoy, 2015: Using subseasonal-to-seasonal (S2S) extreme rainfall forecasts for extended-range flood prediction in Australia, *Proc. IAHS*, 370, 229-234
- WMO, 2013: Sub-seasonal to seasonal prediction research implementation plan, Dec. 2013, 71pp
- WMO, 2015: Seamless prediction of the Earth system: from minutes to months, Jun. 2015, 471pp

연구보고서 2015-07

전자구 계절예측 모델의 예측 오차 분석 및 예측성 평가

Assessment of predictability and systematic error of global
seasonal forecast model

유진호



APEC 기후센터

48058 부산광역시 해운대구 센텀7로12

Tel: 051-745-3900 Fax: 051-745-3949

www.apcc21.org



9 791156 980957

ISBN 979-11-5698-035-7